

VŠB-Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

Zkušenosti s používáním střešní fólie na bázi EPDM v České republice
a vyhodnocení zkoušek vlastností fólie po 20 letech na střeše

Experience with EPDM roofing membranes in Czech republic
and properties evaluation after 20 years of service

Student:

Michaela Džopková

Vedoucí bakalářské práce:

doc. RNDr. František Kresta, Ph.D.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

Zadání bakalářské práce

Student: **Michaela Džopková**
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3647R019 Stavební hmoty a diagnostika staveb
Téma: **Zkušenosti s používáním střešní fólie na bázi EPDM v České republice
a vyhodnocení zkoušek dlouhodobých vlastností
Experience with roof membrane EPDM in Czech republic and
evaluation of long term properties**

Zásady pro vypracování:

Střešní fólie EPDM (Ethylen-Propylén-Dien-terpolyMer) se používají ve světě déle než 40 let. Výroba EPDM začala v roce 1963 a na první střechy byla EPDM nainstalována na konci 60.let 20.století. Fólie zůstává pružná až do teplot -45°C a bez poškození se může protáhnout až o 300%. Materiál je po celou dobu životnosti stálý a inertní vůči životnímu prostředí.

V České republice se fólie EPDM pro střešní systémy používá zhruba 20 let. Za tu dobu byly instalovány na řadu plochých střech, v poslední době i v kombinaci se slunečními kolektory. V současné době probíhají zkoušky dlouhodobých vlastností EPDM fólií instalovaných v minulosti u nás.

Práce se bude věnovat okrajovým podmínkám použití fólie EPDM a vyhodnocení výsledků zkoušek provedených v laboratořích jednoho z výrobců (Firestone Building Product).

Předpokládaný obsah bakalářské práce

- 1) Fólie EPDM a její vlastnosti.
- 2) Použití fólie EPDM na plochých střechách a v jiných aplikacích (v kombinaci se solárními panely, na zelených střechách apod.).
- 3) Rizika poškození fólie EPDM při instalaci a provozu stavby.
- 4) Dlouhodobé vlastnosti fólie EPDM.
- 5) Vyhodnocení výsledků zkoušek dlouhodobých vlastností fólie EPDM.
- 6) Závěry a doporučení.

Seznam doporučené odborné literatury:

Doporučená literatura

SVOBODA, L. a kol. Stavební hmoty. Bratislava, JAGA, 2007. ISBN 978-80-8076-057-1
Gish B. – Lusardi K.: Laboratory evaluation of EPDM roof membranes: a 17 year history of performance.- 3rd International symposium of roof technology, Montreal, 1991, pp. 159-166
Hutchinson T. : Long-term roof system service life study.- Benchmark Services Inc., 2010, pp. 1-82
Trial T. – Robertson R. - Gish B.: EPDM roof membranes: Long term performance.- Roof Consultant Institute, pp. 1-13
Vitello R.: Comparative performance of EPDM rubber roofing as protection against hail damage.- Benchmark Services Inc., 2007, pp.1-15.

Bakalářská práce

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. RNDr. František Kresta, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2013

Datum odevzdání: 05.05.2014



Ing. Libor Žídek
vedoucí katedry



prof. Ing. Darja Kubečková, Ph.D.
děkanka fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдоміі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдоміі, же оdevздáніі své práce souhlasím se zveřejněníм své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

Poděkování

Ráda bych poděkovala doc. RNDr. Františku Krestovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady, které mi pomohly při psaní této práce, firmě Firestone Building Products Europe za svolení k použití jejich interních materiálů včetně výsledků laboratorních zkoušek a Ing. Lumíru Peřichovi za poskytnutí všech informací k tématu této práce.

Anotace

Střecha je nejnamáhanější částí stavby. Odolává účinkům vnějšího zatížení jako je sníh či vítr a zároveň chrání stavbu před teplotními výkyvy počasí. Především ploché střechy musí také zajistit dokonalou ochranu proti vnikání vody do konstrukce. Správná funkce i spolehlivost střech zcela zásadně souvisí s životností střešního souvrství.

Tato práce se v úvodu věnuje základním skladbám plochých střech, použitými materiály a základními pravidly jejich použití. Popisuje nejčastěji u nás používané hydroizolační vrstvy a zaměřuje se na hydroizolační fólie na bázi EPDM.

V praktické části zkoumá účinky vnějšího prostředí, včetně UV záření na proces stárnutí tohoto materiálu pomocí vzorků odebraných ze střech. Vyhodnocení reálných změn po 20. letech působení všech negativních faktorů vypovídá o faktu, že tento materiál dokáže spolehlivě plnit svou funkci bez významných ztrát jeho původních vlastností.

Klíčová slova

Střecha, plochá střecha, střešní souvrství, hydroizolace, hydroizolační fólie, fólie na bázi EPDM, tažnost, tahové napětí, smykové napětí ve spoji

Annotation

Roof is usually most strained part of building. Resist to elements, UV rays, snow, sunshine, wind and also protect building against weather. Proper protection and roof reliability is fully dependent on quality of used materials and proper roof design.

This thesis in first part describe basic roof layouts, commonly used materials and good roofing practise. Analyse mostly used roofing materials with special attention to EPDM roofing membranes.

In practical part exploring weather ageing effects on material by testing samples from existing roofs. Samples evaluation after 20 years service show, that EPDM roofing membrane can serve many years without significant loss of original properties.

Key words

Roof, flat roof, roof layout, roofing membrane, EPDM based membrane, tensile strength, elongation, shear resistance

Obsah bakalářské práce

ÚVOD.....	7
2. Materiály používané pro hydroizolaci plochých střech	8
2.1 Asfaltové pásy	9
2.2 Měkčené PVC.....	16
2.3 PO fólie.....	17
3. Nejčastěji používané skladby plochých střech.....	19
3.1 Jednoplášťové ploché střechy.....	19
3.2 Dvoupplášťové ploché střechy	27
4. Hydroizolační fólie na bázi EPDM	29
4.1 Co je materiál EPDM	29
4.2 Technické parametry a vlastnosti fólie na bázi EPDM	33
4.3 Způsoby aplikace fólie na bázi EPDM na ploché střechy	36
4.4 Zkušenosti se střešní fólií na bázi EPDM v zahraničí	37
5. Srovnání vlastností dlouhodobě namáhaných střešních fólií na bázi EPDM.....	40
5.1 Vzorky fólie na bázi EPDM testované pro srovnání mechanických vlastností materiálu	40
5.2 Metodika zkoušených mechanických vlastností fólie na bázi EPDM.....	44
5.3 Výsledky laboratorních testů vlastností hydroizolačních fólií na bázi EPDM.....	47
5.4 Zjišťování vlivu UV záření, ozónu a vnějších vlivů na životnost hydroizolační vrstvy na bázi EPDM.....	50
6. Závěr.....	58
Seznam použité literatury	59
Seznam obrázků	61
Seznam tabulek	63
Seznam grafů.....	63
Seznam příloh.....	64

ÚVOD

Dnešní doba klade vysoké nároky na vše kolem nás. Vyvíjí se stále nové materiály, technologie a postupy s cílem zajistit větší komfort, lepší funkčnost, vyšší spolehlivost a delší životnost. Výjimkou není ani stavebnictví. Jedná-li se o problematiku střech, konkrétně střech plochých, je otázka životnosti a spolehlivosti zcela zásadní.

Materiály pro hydroizolaci plochých střech na bázi EPDM u nás sice nejsou žádnou novinkou, přesto o nich víme jen velmi málo. Výrobce uvádí, že konkurenční výhodou této střešní fólie je její vysoká životnost a spolehlivost. Je tomu tedy opravdu tak?

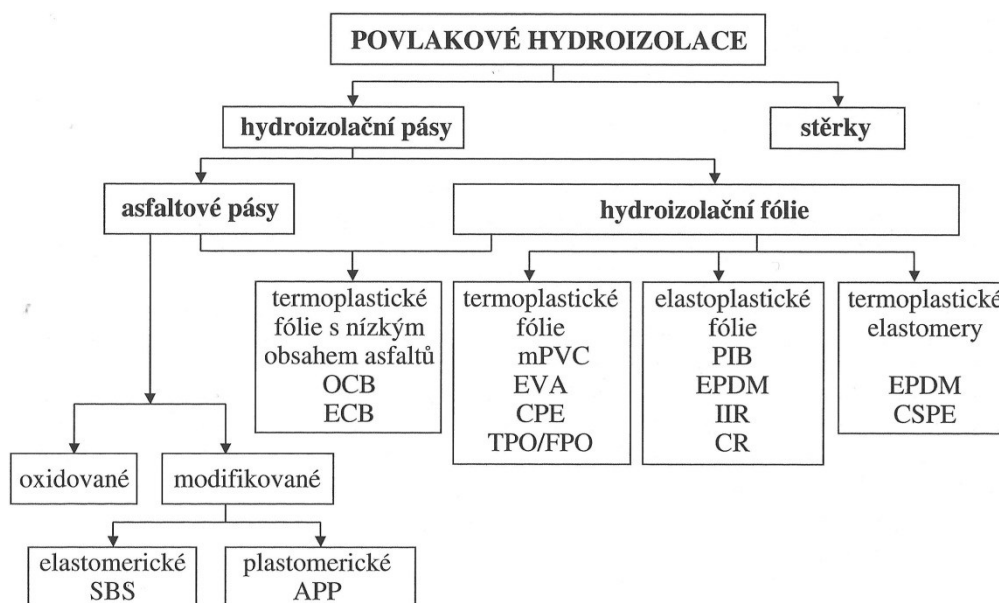
Většina testů životnosti se provádí simulací umělého stárnutí. Tyto zkoušky ale neumí napodobit reálné podmínky na střeše. A jak tento materiál dlouhodobě odolá našim specifickým klimatickým podmínkám? Vzhledem k tomu, že první střechy z materiálu na bázi EPDM firmy Firestone se na území České republiky aplikovaly v letech 1994-1995, je možné na základě odběru vzorků z některé z těchto střech vyhodnotit vývoj dlouhodobých vlastností v našich podmínkách.

2. Materiály používané pro hydroizolaci plochých střech

Střecha je část domu, která plní jednu z nejdůležitějších funkcí. Chrání proti vnějšímu prostředí a především proti vnikání vody nebo vlhkosti do konstrukce. K těmto účelům slouží hydroizolační vrstva střešního pláště nebo také povlakové hydroizolace.

Hydroizolační vrstva je vrstva nepropustná pro vodu v kapalném i tuhém skupenství v důsledku hydroizolačních vlastností použitých materiálů a hydroizolační celistvosti a spojitosti [16]. Tato vrstva je z pravidla nejvíce namáhanou vrstvou střešního souvrství, jelikož musí odolávat UV záření, působení sněhu a větru, prudkým změnám teplot a zároveň se od ní očekává dlouhá životnost. [3].

Nejčastěji se pro hydroizolaci plochých střech v České republice používají tradiční materiály, vyzkoušené a lety prověřené. S vývojem nových technologií a výrobků našly i u nás uplatnění nové „moderní“ materiály fóliového typu. Přehled povlakových izolací u nás dostupných je na obrázku 1 [3]. Nejčastěji používané jsou asfaltové pásy v modifikaci SBS, měkčené PVC fólie a polyolefické (PO) fólie.



Obr. 1 Schéma členění povlakových hydroizolací

2.1 Asfaltové pásy

Tento materiál je u nás velmi oblíbeným způsobem pro hydroizolaci nejen střech, ale i pro hydroizolace spodních staveb. Existuje široká škála druhů, úprav i způsobů použití.

Druhem asfaltu, nosné vložky či povrchové úpravy vrstev ovlivňujeme důležité vlastnosti této povlakové hydroizolace. Ovlivňujeme tím i vhodnost jejího použití pro danou konstrukci, způsob aplikace i kompatibilitu s ostatními vrstvami střešní skladby [2].

Výroba a druhy asfaltu pro asfaltové pásy

Asfalt používaný pro hydroizolace se vyrábí destilací ropy. V destilačních kolonách probíhá nejprve atmosférická destilace a následně pak destilace vakuová. Vakuový zbytek, který zůstane na dně destilační kolony, obsahuje surový ropný asfalt. Tento primární asfalt je surovinou pro výrobu oxidovaných nebo extrahovaných asfaltů. Oxidovaný asfalt vzniká oxidací primárního asfaltu. Extrahovaný asfalt získáme extrakcí vakuového zbytku. Využívá se především pro výrobu modifikovaných asfaltů, které jsou dnes nejpoužívanějším druhem asfaltu pro výrobu hydroizolačních povlakových asfaltových pásů [4], [2].

Oxidované asfalty

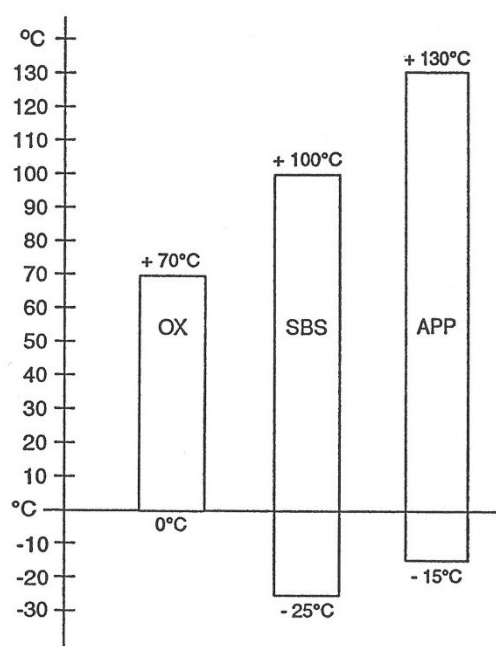
Z oxidovaného asfaltu se vyrábí natavitelná pásová izolace. Tyto klasické asfaltové pásy se u nás vyrábí od začátku 60. let minulého století. Pro svou poměrně nízkou životnost a nedostatečné technické parametry jsou dnes tyto pásy pro použití na střechy nevhodné [4]. Především nedostačující teplotní interval použitelnosti vedl k tomu, že se vyvinuly tzv. modifikované pásy, které nabízí uživateli daleko lepší užitné i technické vlastnosti (Tab. 1) [2], [4].

Modifikovaný asfalt

Jedná se o extrahovaný a polofoukaný asfalt smíchaný s modifikátory. Modifikátory rozumíme přísady, které ovlivňují životnost, odolnost vůči teplotám, zpracovatelnost a další důležité vlastnosti.

Tab. 1 Základní vlastnosti jednotlivých typů asfaltů používaných pro hydroizolaci (upraveno podle [6], [2])

Vlastnost	Oxidované asfalty	Asfalty modifikované APP	Asfalty modifikované SBS
Reakce na protažení	plastická	plastická	elastická
Průtažnost (bez výztužné vložky) (%)	20 až 40	100 až 150	1 000 až 1 500
Ohebnost za nízkých teplot (°C)	0 až 8	-15 až -5	-45 až -5 (běžně -20 až -25)
Stálost za tepla (°C)	~70	115 až 130	90 až 110
Bod měknutí KK (°C)	50 až 90	130 až 150	110 až 130
Odolnost proti UV záření	s ochrannými nátěry nebo posypem	i bez ochranného posypu	s ochranným posypem
Stárnutí	nejhorší	střední	nejlepší



Obr. 2 Diagram tepelné stability asfaltových pásů (převzato z [4])

I. Modifikace APP

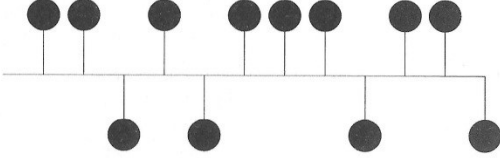

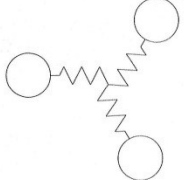
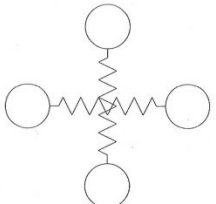
APP znamená zkratku pro ataktický polypropylen, kterým se asfalt modifikuje. Později se do této modifikace začaly přidávat také polyolefiny, které zvýšily odolnost proti nízkým teplotám. Oproti oxidovaným asfaltům odolávají UV záření tak, že v některých případech

není nutná žádná povrchová úprava. APP modifikace mají rovněž vyšší hodnoty bodu měknutí, stálosti za tepla i ohebnosti za nízkých teplot. Orientační hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 1 [2]. Negativa této modifikace spočívají v riziku vystupování olejů na povrch pásů vlivem stárnutí, což oslabuje pevnost ve spojích. Velmi nevhodným se také jeví spojování těchto pásů s oxidovanými asfalty či pásy s modifikací SBS. V těchto spojích opět dochází vlivem stárnutí k výraznému snížení tangenciální pevnosti, která může klesnout až na nulu [2], [4].

II. Modifikace SBS

Je o něco mladší než modifikace APP. Do asfaltu se přidává termoplastický kaučuk styrén – butadién – styrén v obsahu 8 – 15 %, výjimečně až 22 %. Podle postavení molekul v řetězci rozeznáváme lineární, hvězdicovou a křížovou strukturu modifikátoru, které nezanedbatelně ovlivňují chování (výsledné vlastnosti) asfaltové směsi na střeše [6] (obr. 3[6]). Z tabulky č. 1 [2] je zřejmé, že tato modifikace oproti oxidovaným a modifikovaným APP asfaltům nejlépe odolává oběma teplotním extrémům. Chová se jako elastický materiál. Po protažení se vrací do původního stavu. Dá se zpracovávat za nižších teplot, což snižuje spotřebu energie při instalaci. Modifikace SBS navíc umožňuje spojování s oxidovanými pásy a nemá problémy s pevností ve spojích. Pásy s vhodným typem nosné vložky umožňují mechanické kotvení k podkladu [4]. Oproti tomu modifikace SBS musí být chráněna povrchovou úpravou, protože není odolná proti UV záření. Nevýhodou může být rovněž vyšší cena [2], [4].

Existují i další modifikace směsí syntetických kaučuků, které se přidávají do směsi asfaltu. Vyrábějí se etylénové modifikace, kde se pohybuje poměr materiálů přibližně 1:1. Pokud by však množství asfaltu bylo menší než množství modifikačního činidla, byl by tento materiál řazen mezi fólie [2].

	<p>Lineární struktura APP (ataktického propylenu). Z tohoto grafického znázornění je patrna nepravidelná lineární struktura.</p> <p>Základní deformační charakteristika těchto materiálů je plastická deformace – materiály modifikované APP jsou plastomery</p>
	<p>Lineární struktura SBS (styren – butadien – styren), kde butadien působí jako péro. To znamená, že základní deformační charakteristika těchto materiálů je elastická deformace – materiály modifikované SBS jsou elastomery</p>
	<p>Hvězdicová struktura SBS. Tento druh SBS je velmi stabilní z hlediska stárnutí.</p>
	<p>Křížová struktura SBS. Toto je nejstabilnější struktura modifikátoru z hlediska stárnutí.</p>

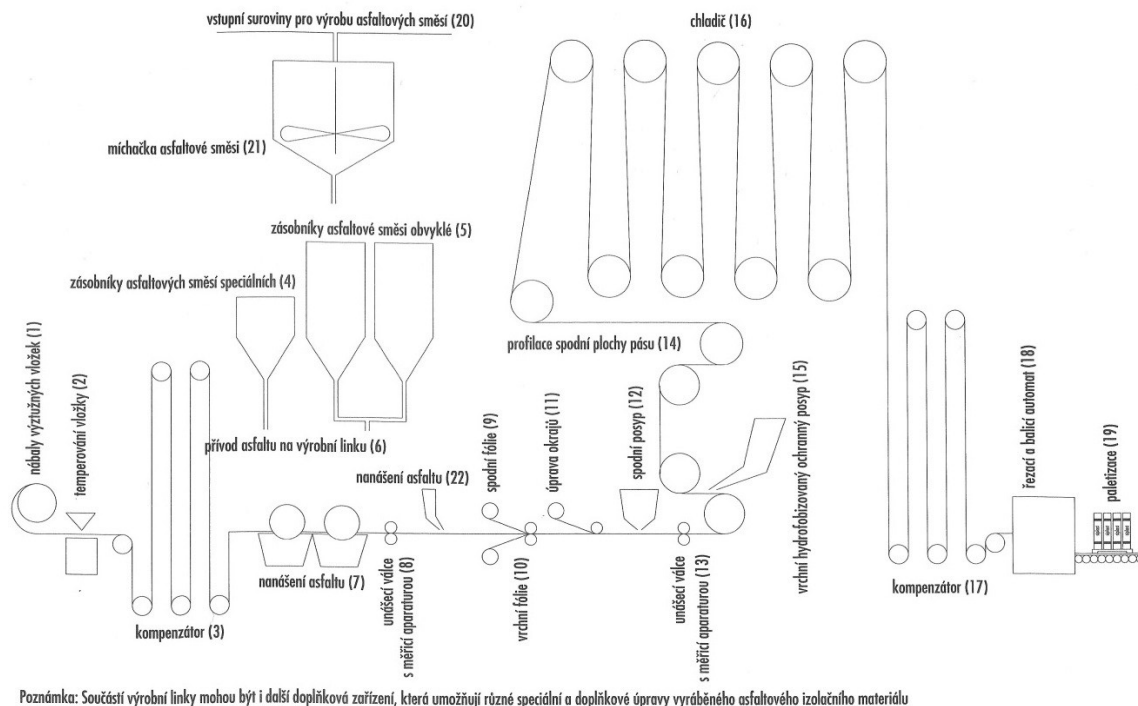
Obr. 3 Graficky znázorněná struktura molekul asfaltů modifikace APP a SBS

Plniva do asfaltů

Dalšími složkami asfaltových směsí jsou plniva neboli filery. Ty umožňují pásům zlepšit některé funkce důležité pro krycí vrstvu plochých střech, zvýšit jejich stabilitu při skladování nebo zjednodušit jejich samotnou výrobu. Nejčastěji se používá rozemletá břidlice nebo vápencová a čedičová moučka [2].

Výroba asfaltových pásů

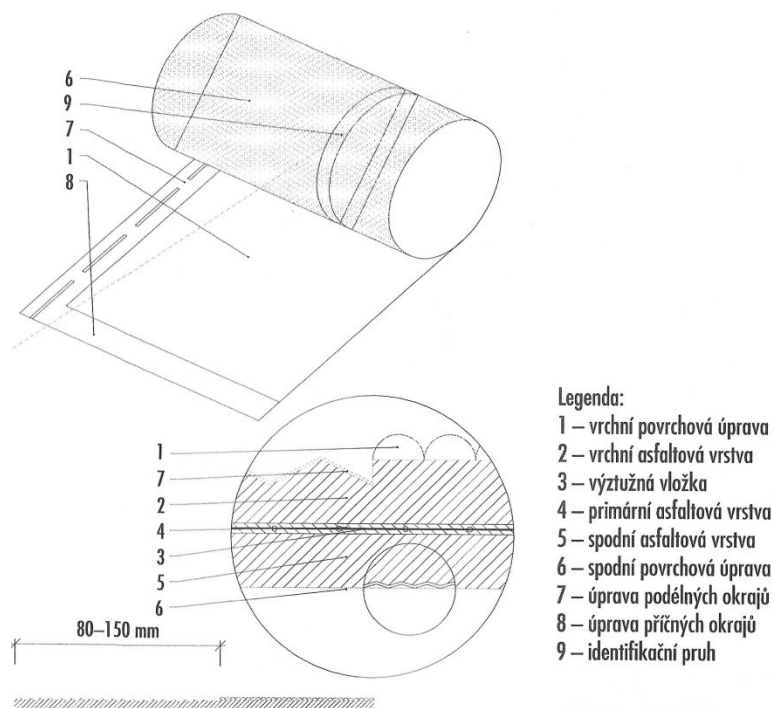
Schéma výroby, vyjma speciálních a bezvložkových pásů, je uvedena na obrázku č. 4. Primární suroviny jsou asfalty, plniva, ochranné vrstvy, jako jsou posypy nebo fólie. Dalšími surovinami jsou modifikátory a nosné vložky [6].



Obr. 4 Základní schéma výroby asfaltových pásů (převzato z [6])

Skladba asfaltových pásů

Základní skladbu asfaltových pásů tvoří nosná vložka, horní a dolní krycí asfaltové vrstvy a většina dnes používaných pásů má také úpravu horního a spodního povrchu [2]. Podrobnější schéma hydroizolačních asfaltových pásů je na obr. 5 [6].



Obr. 5 Schéma asfaltového hydroizolačního pásu (převzato z [6])

Nosná vložka velmi výrazně ovlivňuje vlastnosti i životnost asfaltového pásu. Mezi sledované parametry výztužných vložek patří nasákavost, pevnost a průtažnost, difuze vodních par nebo odolnost proti ohni. Pro hydroizolaci plochých střech jsou například naprosto nevhodné vložky z nasákavých materiálů nebo vložky s nízkou prostorovou stabilitou [2].

Povrchovou úpravou jsou pásy nejčastěji opatřeny z důvodu ochrany proti UV záření nebo zamezení slepování pásu svinutého v roli. Další funkcí ochranné vrstvy je snížení teploty povrchu asfaltu v letních měsících zvolením světlého odstínu posypu nebo ochrana proti tzv. „přelétavému ohni“.

Druhy asfaltových pásů dle jejich tloušťky

- I. Asfaltové pásy typu A – nejjednodušší typ pásu, jedná se o lepenku impregnovanou asfaltem. Tloušťka se pohybuje do 1 mm. Uplatnění těchto pásů je jako ochranná nebo podkladní vrstva.
- II. Asfaltové pásy typu R – krycí vrstvy mají přibližně 1 mm, tloušťka pásu je kolem 2,5 mm. Ani tento typ nepoužíváme jako hydroizolaci střech. Využívají se jako

hydroizolace spodních staveb nebo ke kaširování tepelné izolace z pěnového polystyrenu

- III. Asfaltové pásy typu S – jediný typ, který vyhovuje požadavkům normy ČSN P 73 0606 pro hydroizolaci střešních plášťů. Pásy o tloušťce minimálně 3 mm se používají většinou pro plnoplošně lepené systémy, s tloušťkou min. 4 mm jsou pak natavitelné asfaltové pásy a nad 5 mm tloušťky asfaltového pásu jsou použitelné jako jednovrstvá vodotěsná izolace [3].

2.2 Měkčené PVC

Mezi hydroizolačními fóliemi je to v současnosti nejčastěji používaný materiál pro ploché střechy. Patří do skupiny termoplastických fólií, jejichž základem je polyvinylchlorid (PVC). Tento materiál je však velmi nepoddajný a pro aplikaci na střechy samostatně nevhodný. Proto se dále upravuje – změkčuje. U měkčených PVC fólií (mPVC) se používají tekutá změkčovadla [3].

Změkčovadla se používají buď monomerická, nebo polymerická.

- I. K monomerickým změkčovadlům patří olejovité ftaláty. Značným negativem je jejich postupné uvolňování z PVC do okolí. Tento efekt se navíc umocňuje, leží-li fólie tohoto typu na vrstvě polystyrenu nebo na asfaltovém pásu. Špatně se snáší také s materiály na bázi polyolefinů. Proto se mezi tyto vrstvy vkládá separační vrstva typu netkané geotextilie nebo rohože ze skelného rouna [3].
- II. Polymerická změkčovadla jsou stabilnější a mají vyšší snášenlivost s asfalty i polystyreny. Tyto fólie jsou však dražší [3].

Výroba měkčených PVC fólií

Je několik způsobů výroby, nejčastěji se však mPVC fólie vyrábí kalandrováním neboli válcováním. Méně častá je nátěrová metoda nebo výroba extruzí. Kromě změkčovadel se do těchto fólií přidávají také UV stabilizátory, pigmenty nebo fungicidy. Většinou jsou také vyztuženy buď skelným rounem, nebo polyesterovou mřížkovou tkaninou. Fólie lepené k podkladu mají vespod nakaširovanou vrstvu PE nebo PP rouna. Nevyztužené mPVC fólie se používají na izolaci konstrukčních detailů [2],[3].

Vlastnosti měkčeného PVC

Tloušťka mPVC fólií se pohybuje mezi 1,2 – 2,4 mm. Jedná se o nejprodyšnější materiál mezi hydroizolacemi, faktor difúzního odporu μ se pohybuje v rozmezí 8.000 – 20.000. Nejčastěji se můžeme setkat s šedou nebo bílou variantou, na trhu jsou však k dostání i v jiném barevném provedení. Tažnost závisí na použité výztuze, vložka s polyesterovými vlákny má tažnost přibližně 8 %, skelné vlákna mohou dosáhnout hodnoty až 200 %. Spojují se horkovzdušným svařováním nebo lepením speciálními lepidly. Oproti asfaltovým hydroizolacím se hydroizolační fólie nanášejí na střechu pouze v jedné vrstvě. Jsou velmi tvárné a ohebné. Jejich výhodou je také jednoduchost a rychlost instalace, čímž se tato

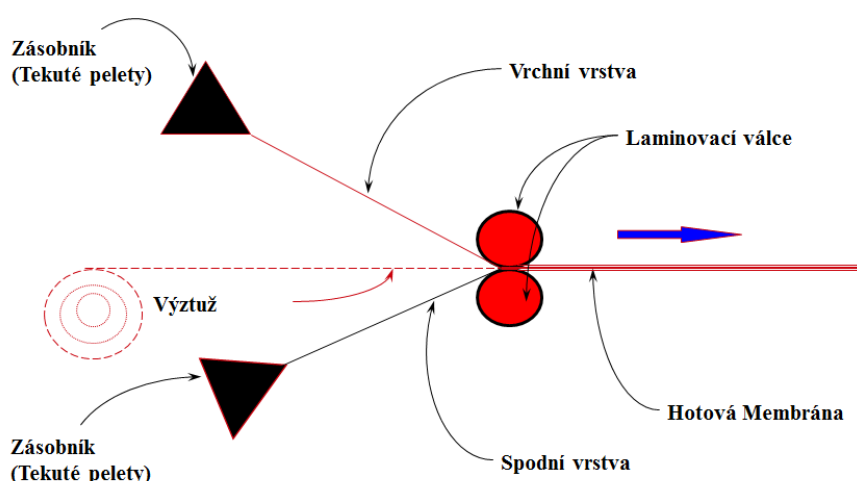
hydroizolace řadí mezi hospodárná řešení pokrytí plochých střech [2], [3]. Negativní stránkou je jejich nízká životnost a nepřízeň k životnímu prostředí.

2.3 PO fólie

PO fólie patří do skupiny termoplastických fólií. Jejich základ tvoří polypropylenová nebo polyetylenová báze. Často se můžeme také setkat s označením TPO neboli termoplastické polyolefiny nebo také FPO neboli flexibilní polyolefiny (toto označení však mohou mít jen PO fólie obsahující 30 – 35 % olefinů). Svou oblíbenost si získaly především pro svou vstřícnost k životnímu prostředí, jelikož neobsahují žádné plastifikátory ani chloridy a také díky své trvanlivosti a snášenlivosti s ostatními materiály, jako je polystyren nebo asfalt [2], [17].

Výroba TPO fólií

Výrobní proces je podobný jako u výroby mPVC. PO fólie se vyrábí kalandrováním (obr. 6), extruzí neboli vytlačováním a nátěrovou metodou. Zjednodušený postup výroby kalandrováním je zobrazen na obrázku č. 5. Při výrobě se k polyolefinům přidávají zpomalovače hoření, UV stabilizátory, antioxidanty a plniva zvyšující odolnost proti ohni. Šedá vrstva obsahuje technické saze, bílá horní vrstva titanovou bělobu. Každý výrobce má své specifické materiálové složení, neměnný je pouze obsah polyolefinového polymeru. [17]



Obr. 6 Kalandrování PO fólií [17]

Vlastnosti TPO fólií

Tento typ fólií je tužší než většina termoplastických fólií. Spoje se provádějí svařováním horkým vzduchem, v některých případech je nutná tzv. aktivace oblasti sváru nanesením aktivátoru pomocí štětce nebo hadru. Materiál je odolný vůči UV záření, není proto nutná následná ochrana. Rozměrovou stabilitu zajišťuje vnitřní vyztužení skelnou rohoží nebo polyesterovými vlákny. Tloušťka fólie se pohybuje mezi 1,2 až 2,0 mm. Standardně se vyrábí v odstínu světle šedé barvy, lze si ji však zakoupit v béžové nebo bílé barvě. Tažnost těchto materiálů se pohybuje kolem 20 %, fólie vyztužené skelnými vlákny ji však mohou mít vyšší. U tohoto materiálu se uvádí vysoký faktor difúzního odporu až 220 000. Vyšší hodnoty jsou pro hydroizolaci střech vnímány jako méně výhodné [2], [3], [4].

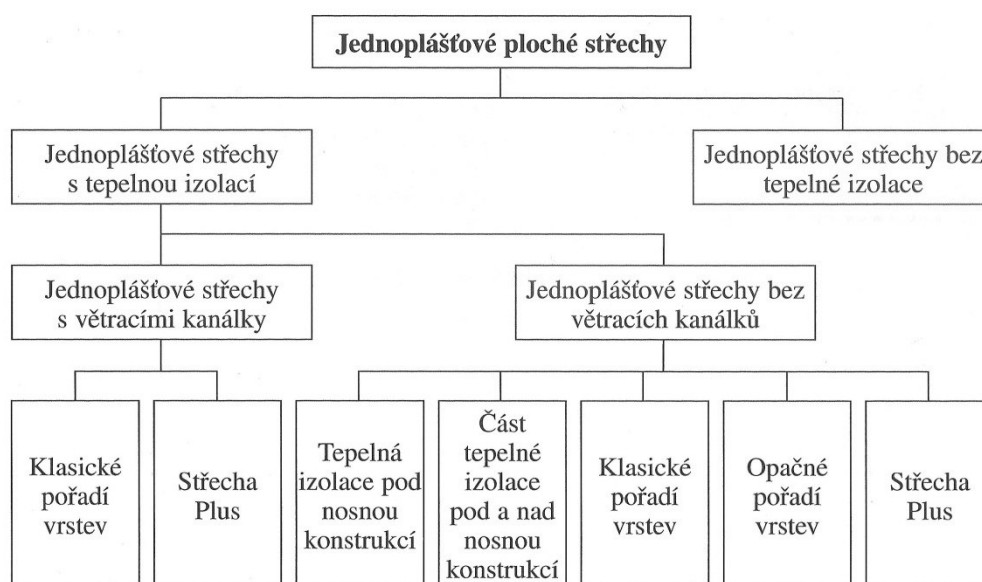
Výhodou tohoto materiálu je minimálně dvojnásobná životnost v porovnání s měkčeným PVC a také menší zátěž pro životní prostředí.

3. Nejčastěji používané skladby plochých střech

3.1 Jednoplášťové ploché střechy

Jedná se o nejoblíbenější skladbu plochých střech pro svou rychlost, jednoduchost, finanční nenáročnost i možnost výběru povrchové úpravy. Tyto střechy se mohou dodatečně zateplovat a jejich oprava je jednodušší než u střech dvouplášťových. Velmi důležitý je správný návrh střešního pláště a nutnost dodržet při instalaci přesné technologické postupy. V opačném případě se střecha může stát nespolehlivou a poruchovou [3], [4].

Jednoplášťové souvrství se rozděluje na souvrství s tepelnou izolací a bez tepelné izolace viz obr. 7 [3].



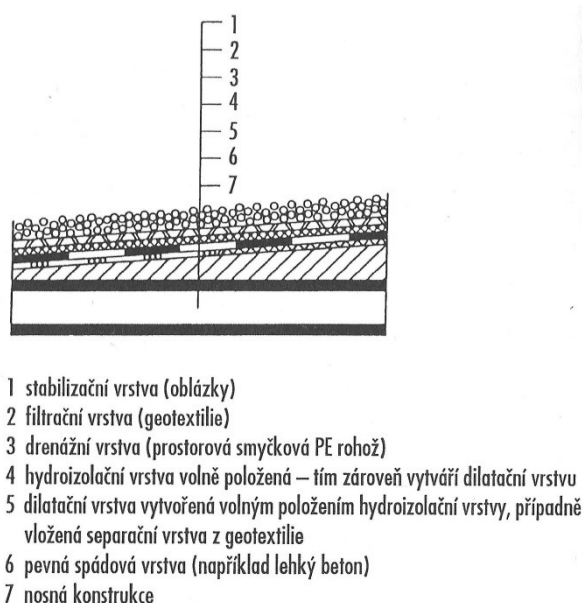
Obr. 7 Schéma rozdělení jednoplášťových střech podle skladby souvrství

I. Střešní plášť bez tepelné izolace

Využití těchto střech je hlavně nad prostory, které není třeba vytápět nebo nad otevřenými přístřešky, jako jsou například zahradní pergoly. Souvrství střešního pláště se skládá pouze z vodotěsné vrstvy a nosné vrstvy konstrukce [2].

Hydroizolační vrstva je v tomto případě vždy jednovrstvá, a to i při použití asfaltových pásů, a je položena na vyspádovaný povrch nosné konstrukce (dle ČSN 73 1901). Proti sání větru je

fólie chráněna přilepením k povrchu, přitížením stabilizační vrstvou (obr. 8 [2]) nebo mechanickým kotvením.



Obr. 8 Příklad jednoplášťové střechy bez tepelné izolace

II. Střešní pláště s tepelnou izolací

Tyto střechy jsou použity všude, kde je kladen důraz na tepelně izolační požadavky střešního pláště. Dle konstrukčního řešení tyto střechy dále dělíme na střechy s klasickým pořadím vrstev, střechy s obráceným nebo také opačným pořadím vrstev a DUO střechy.

Střechy s klasickým pořadím vrstev

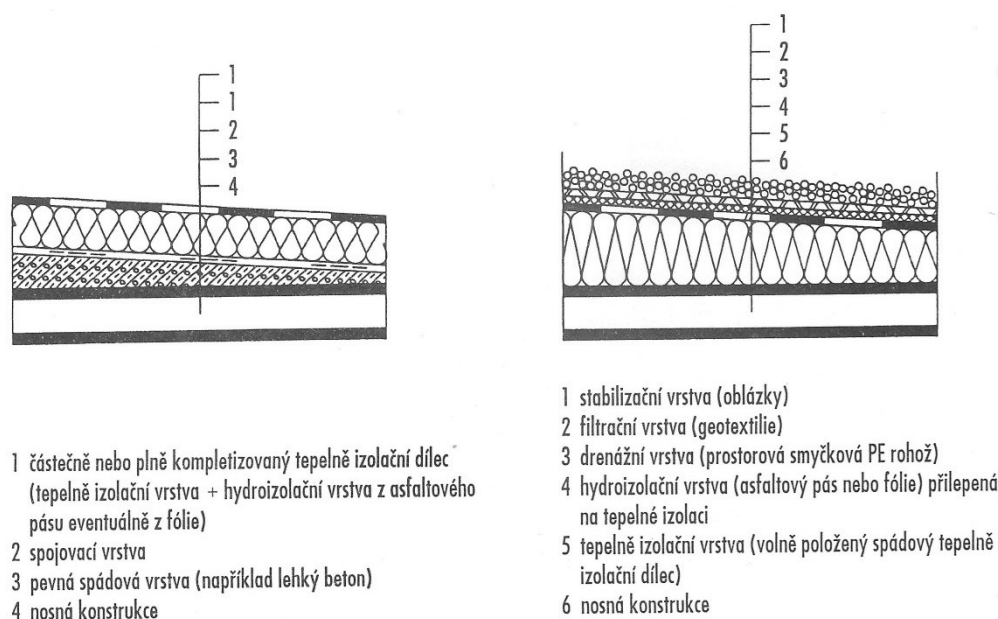
Mezi jednoplášťovými plochými střechami se jedná o nejčastěji aplikované střechy u nás. Pořadí jejich vrstev je dle jejich názvu klasické a znamená, že hydroizolační vrstva se nachází nad vrstvou tepelně izolační.

Dle skladby vrstev je můžeme dále rozlišit na jednoplášťové střechy s nebo bez přítomnosti parotěsné vrstvy.

Jednoplášťová střecha s klasickým uspořádáním bez parotěsníci vrstvy

První řešení lze použít v případě, vyskytuje-li se v podstřešním prostoru teplota do 24 °C a relativní vlhkost ovzduší nižší než 60 % [2]. V tomto případě je však důležité snížit riziko kondenzace použitím difuzně propustnější vodotěsné izolace nebo návrhem expanzní vrstvy.

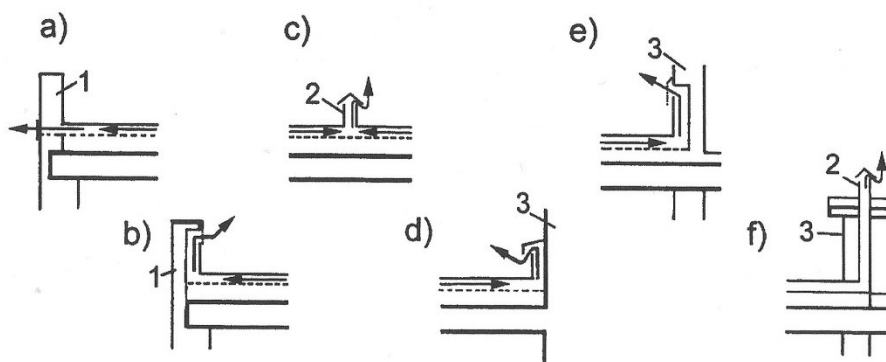
Ta musí být expanzními komínky vyvedena ven z konstrukce. Na obrázku č. 9 [2] jsou uvedeny běžné způsoby upevnění střešní skladby ke konstrukci [2].



Obr. 9 Příklady jednoplášťových plochých střech s klasickým uspořádáním vrstev bez parotěsnicí zábrany (převzato z [2])

I přes splnění všech technologických požadavků však tato střecha nemusí vyhovět tepelně vlhkostnímu režimu konstrukce a nemusí tak splňovat normou požadované hodnoty dle ČSN 73 1901. S tímto problémem se setkáváme hlavně u konstrukcí s tepelnou izolací pod nosnou konstrukcí [2], [3].

Zvláštní skupinou jednoplášťových střech bez parozábrany jsou jednoplášťové střechy větrané. Principem větrání těchto střech je systém větracích kanálků, který byl navrhován do tepelně izolační vrstvy s vývody do exteriéru, viz obr. 10. Složitost tohoto systému však zapříčinila, že ve většině takto navržených střech větrání nefunguje. Ve střechě nejen nedochází k potřebnému proudění vzduchu, ale kanálky se staly příčinou chladnutí konstrukce a vzniku tepelných mostů. Na základě těchto zkušeností se dnes již tento typ střešní skladby nenavrhuje.



Obr. 10 Napojení větracích kanálků na vnější ovzduší (převzato z [3])

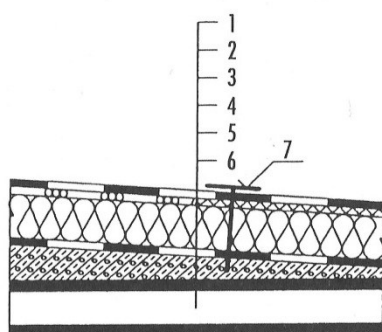
a) s vyústěním na vnější líc atiky, b) s vyústěním na vnitřní líc atiky, c) v ploše střechy ventilační komínky, d,e) v místě vnitřní zdi, f) v ploše střechy vyššího podlaží ventilačními komínky, 1 – atika, 2 – ventilační komínek, 3 – vnitřní zeď

Jednoplášťová střecha s klasickým uspořádáním s parotěsnicí vrstvou

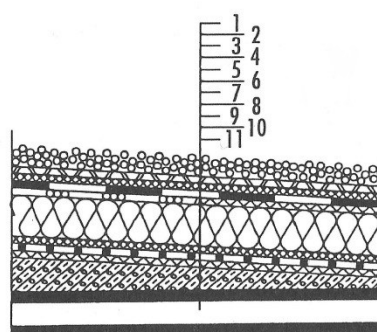
S tímto typem uspořádání střechy se v našich podmínkách setkáváme nejčastěji. Jedná se o střechy nad vytápěnými prostory, ve kterých se teplota pohybuje nad 20°C a relativní vlhkost vzduchu přesahuje 60%. Základní uspořádání vrstev je patrné na obrázku 11 [2]. Spádování střechy je řešeno buď samotnou nosnou konstrukcí střechy, nebo se provádí pomocí tepelné izolace spádovými klíny. Nejčastěji se klíny vyrábí z pěnového polystyrenu, ale lze použít také minerální vlnu, PUR (pěnový polyuretan) či pěnové sklo. Extrudovaný polystyren je pro tento typ skladby nevhodný pro svou tvarovou nestálost. Z důvodu zajištění ochrany střechy před vlhkostí dáváme parotěsnou vrstvu vždy pod vrstvu tepelně izolační. Platí zde pravidlo, že difúzní odpor hydroizolace musí být několikanásobně nižší než difúzní odpor parozábrany. Vzhledem k velké variabilitě používaných materiálů je nutné pro každou konkrétní střechu zvážit skladbu jednotlivých vrstev, jejich technologické možnosti i optimální zajištění proti sání větru [2], [3].

Pokud pokládáme střechu na monolitický podklad, je nutné parozábranu volně pokládat v případě přetížení nebo mechanického kotvení. Lepena může být pouze bodově, nikoliv celoplošně. V tomto případě funguje také jako vrstva expanzní, což znamená, že zde dochází k vyrovnání parciálních tlaků mezi vnějším a vnitřním prostředím. Za určitých okolností může navržená parozábrana plnit funkci tzv. pojistné hydroizolační vrstvy. Pak je třeba vložit mezi parotěsnicí a tepelně-izolační vrstvu ještě vrstvu drenážní a zajistit samostatný odvod vniklé vody. Souvrství se navíc přitěžuje stabilizační vrstvou, nedoporučuje se lepení vrstev nebo mechanické kotvení k podkladu. Výjimkou u tohoto typu střech je skladba, ve které je

tepelným izolantem pěnové sklo, v tomto případě lze vynechat parotěsnicí vrstvu, jelikož je tato izolace materiál s téměř dokonalým faktorem difúzního odporu. Navrhujeme-li střechu s hydroizolací z asfaltových pásů, parotěsnicí vrstva je zpravidla tvořena asfaltovými pásy. Použijeme-li hydroizolační fólie, setkáváme se parozábranou z PE fólie [2], [5].



- 1 hydroizolační vrstva (fólie nebo asfaltový pás) volně položená – tím zároveň vytváří dilatační a expanzní vrstvu
- 2 dilatační a expanzní vrstva vytvořená volným položením hydroizolace, případně vložená separační vrstva z geotextilie
- 3 tepelně izolační vrstva volně položená
- 4 parotěsná vrstva (asfaltový pás) volně položená, případně bodově lepená
- 5 pevná spádová vrstva (například lehký beton)
- 6 nosná konstrukce
- 7 kotvicí prvek (obvykle v přesazích hydroizolace – není však podmínkou, jsou i jiná řešení)



- 1 stabilizační vrstva (oblázky)
- 2 filtrační vrstva (geotextilie)
- 3 drenážní vrstva (prostorová smyčková PE rohož)
- 4 hydroizolační vrstva (asfaltový pás nebo fólie) volně položená – tím zároveň vytváří dilatační a expanzní vrstvu
- 5 dilatační a expanzní vrstva vytvořená volným položením hydroizolace, případně vložená separační vrstva z geotextilie
- 6 tepelně izolační vrstva volně položená
- 7 drenážní vrstva (prostorová smyčková rohož)
- 8 parotěsná vrstva plnicí zároveň funkci pojistné hydroizolační vrstvy (fólie)
- 9 separační vrstva (geotextilie) plnicí zároveň funkci vrstvy dilatační, případně i expanzní
- 10 pevná spádová vrstva (například lehký beton)
- 11 nosná konstrukce

Obr. 11 Příklady jednoplášťových plochých střech s klasickým uspořádáním vrstev s použitím parotěsnicí zábrany

Tepelná izolace by měla kromě své hlavní funkce splňovat také další důležité vlastnosti. Například u střech s provozním souvrstvím je nutné počítat s nároky na pevnost v tlaku. V mnoha případech jsou na izolaci kladeny požadavky na odolnost vůči požáru (požární odolnost). U kompaktních střech je nezbytná dlouhodobá spolehlivost. [5]

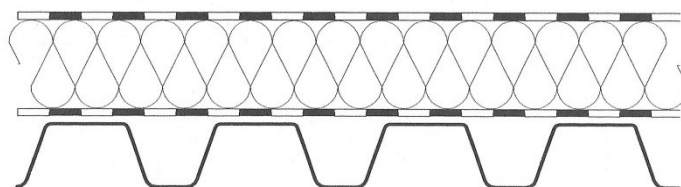
Vodotěsná vrstva musí splňovat požadavky ČSN 73 1901 a zároveň ČSN P 73 0600. Jedná-li se o povlakové hydroizolace, řídí se ČSN P 73 0606. V příloze B této normy najdeme příklady materiálů použitelných pro hydroizolační vrstvu střechy. Povlakové izolace, se kterými se nejčastěji setkáváme, jsou asfaltové pásy nebo hydroizolační fólie. Pásy se k izolaci natavují nebo lepí, je možné je volně pokládat a poté přitížit nebo mechanicky kotvit. U fólií záleží na materiálu a požadavcích kladených na střechu. Každý výrobce má své

vlastní technologické postupy, které je třeba dodržovat. Fólie se nejčastěji volně pokládají a přitěžují nebo kotví. Mohou se však také lepit k podkladu [5].

U jednoplášťových střech je nutné se zmínit také o zásadách návrhu tzv. lehkých jednoplášťových plochých střech s klasickým pořadím vrstev, které nespadají do žádné z výše uvedených kategorií, a mají naprosto specifické požadavky vzhledem k jejich snížené schopnosti tepelné setrvačnosti. Jedná se o střechy z profilovaných neboli trapézových plechů a dřevěného bednění [5].

Nosná konstrukce z dřevěného bednění není dnes pro nové stavby využívána, můžeme se s ní však setkat na starších střechách. Častěji se objevuje u dvouplášťových střech jako horní plášť. Proto se tato střecha může vyskytovat také v souvrství bez tepelné izolace.

Použijeme-li skladbu s tepelnou izolací, nejčastěji s pěnovým polystyrenem, je doporučeno položit tepelnou izolaci ve dvou vrstvách a zajistit střídání spár. Důvodem je citlivost této konstrukce na i nepatrné tepelné mosty, které by mohly vzniknout nepřesností při pokládce nebo teplotním rozpínáním. Parozábrana se nachází mezi bedněním a tepelnou izolací. Jako voděodolnou vrstvu je v tomto případě vhodné použít hydroizolační fólie nebo kvalitní asfaltové pásy. Pokládáme-li tuto vrstvu přímo na bednění, je v obou případech nutné zajistit povlakovou hydroizolaci před poškozením. Oproti tomu lehké jednoplášťové střechy z trapézového plechu se vždy zateplují (obr. 12 [5]). Jako hydroizolační vrstva se zde často používají hydroizolační fólie, můžeme se ale setkat i s asfaltovými pásy, které musí být kvalitní, modifikované s pevnou nosnou vložkou. Zde je nutné použít jako podklad pro položení hydroizolace roznášení vrstvu. U bednění i plechů se cele souvrství velmi často (nejčastěji) mechanicky kotví. U přitěžovaných systémů je nutné, aby byl hydroizolační materiál odolný proti prorůstání kořínků kvůli náletové zeleni [2], [5].



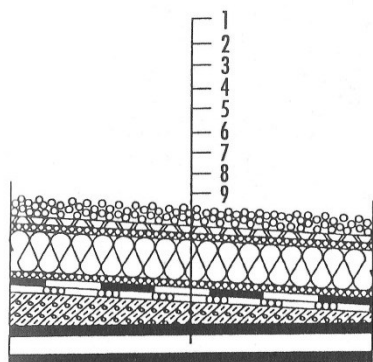
Obr. 12 Lehká střecha na trapézovém plechu

Kompaktní střecha

Někdy se mezi jednoplášťové ploché střechy s klasickým uspořádáním řadí také kompaktní střecha. Název je odvozen od toho, že všechny vrstvy střechy jsou slepeny k sobě a tvoří jednotný celek bez jakýchkoliv dutin. Tím je zajištěna vysoká spolehlivost těchto střech, neboť, poruší-li se horní vrstva tohoto souvrství, voda nemá kam zatéct. Jednotlivé vrstvy jsou spojeny asfaltem a tepelná izolace je navíc obalená vrstvou asfaltové zálivky, takže všechny vrstvy pláště jsou od sebe vodotěsně odděleny. Hydroizolační vrstvu tvoří kvalitní modifikované asfaltové pásy, tepelná izolace je z pěnového skla, nebo může být provedena ze speciálních desek PIR. V případě polyuretanu je nezbytné použít také parozábranu [2],[5].

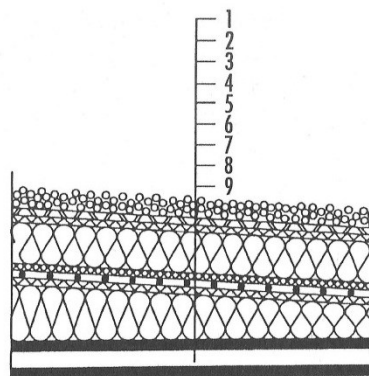
Střecha s opačným pořadím vrstev

Můžeme se také setkat s označením inverzní střecha nebo střecha obrácená. Jedná se o typ střešního souvrství, kde je hydroizolační vrstva pod tepelnou izolací. Tento typ střechy je výhodný hlavně pro jeho jednoduchost skladby i aplikace na střechu, dlouhou životnost i mnohem lepší přístupnost v případě nutnosti opravy. Tepelněizolační vrstva je v tomto případě vždy vytvořena z extrudovaného polystyrenu (XPS), který je nenasákavý a je volně pokládán na hydroizolaci a přitížen. Jeho výhodou je také daleko větší únosnost. Proto jsou tyto střechy vhodné pro pokládku dlažby nebo dokonce pro provedení pojízdných střech nebo střešních zahrad. Mezi hydroizolací a XPS se zpravidla vkládá drenážní vrstva, která je také na povrchu tepelné izolace. Pokud přitěžujeme střechu šterkem, leží na ní ještě vrstva filtrační (obr. 13 [2]). Hydroizolační vrstva je v tomto složení chráněna proti UV záření, musí však být ve všech případech odolná proti prorůstání kořenů.



- 1 stabilizační vrstva (oblázky)
- 2 filtrační vrstva (geotextilie)
- 3 drenážní vrstva (prostorová smyčková rohož)
- 4 tepelně izolační vrstva z XPS
- 5 drenážní vrstva (prostorová smyčková rohož)
- 6 hydroizolační vrstva (asfaltový pás) volně položená, případně neplnoplošně (bodově) lepená
- 7 dilatační vrstva vytvořená volným položením hydroizolace, případně jejím neplnoplošným nalepením
- 8 pevná spádová vrstva (například lehký beton)
- 9 nosná konstrukce

Obr. 13 Příklad obrácené střechy



- 1 stabilizační vrstva (oblázky)
- 2 filtrační vrstva (geotextilie)
- 3 drenážní vrstva (prostorová smyčková rohož)
- 4 tepelně izolační vrstva z XPS
- 5 drenážní vrstva (prostorová smyčková rohož)
- 6 hydroizolační vrstva (fólie) volně položená
- 7 separační vrstva (geotextilie) plnící zároveň funkci vrstvy dilatační, případně i expanzní
- 8 doplňková tepelně izolační vrstva (spádový tepelně izolační dílec volně položený)
- 9 nosná konstrukce

Obr. 14 Příklad řešení střechy DUO

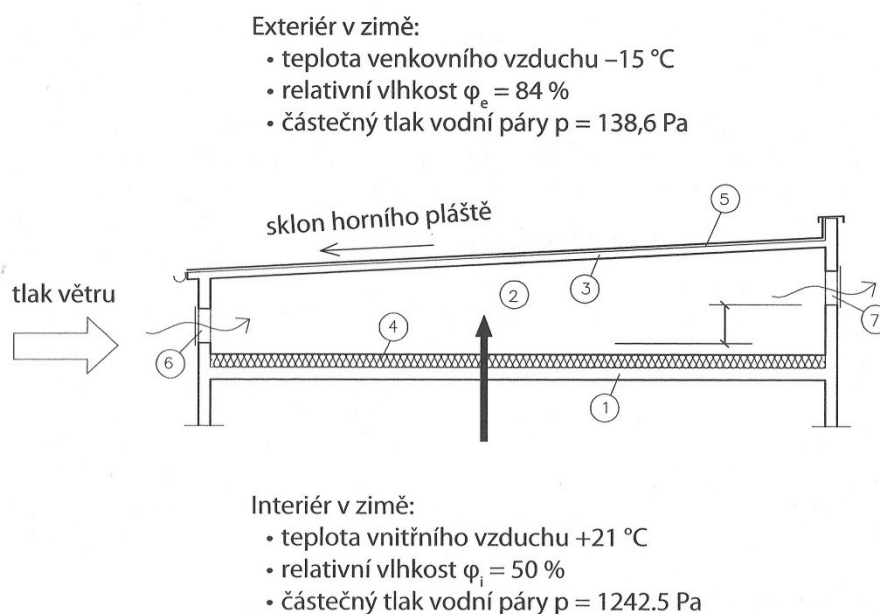
Střecha DUO

Tato jednoplášťová střecha má tepelnou izolaci jak nad hydroizolační vrstvou, tak i pod ní (obr. 14 [2]). Proto se občas můžeme setkat s názvem jednoplášťová střecha kombinovaná. Často vzniká dodatečným zateplením střechy s klasickým pořadím vrstev, položením extrudovaného polystyrenu na hydroizolaci. Pokud takovouto střechu navrhujeme, z celkového objemu tepelné izolace jde přibližně 30 – 40 % pod vodotěsnou vrstvu a 60 – 70 % nad ní.

3.2 Dvouplášťové ploché střechy

Jsou střechy, zajišťující všechny funkce dvěma střešními pláštěmi, mezi nimiž je vzduchová vrstva [10]. Podle toho, zda je vrstva větraná nebo nevětraná případně omezeně větraná, je dále rozděluje na střechy větrané nebo nevětrané. Účelem větrání je proudění vzduchu mezi horním a dolním pláštěm, které odvádí vlhkost ven z konstrukce a nedochází tak k její kondenzaci (viz obr. 15). Z tohoto důvodu mohou být nevětrané střechy problematické a rizikové. Dnes se proto nedoporučují navrhovat. Můžeme se s nimi však setkat u starších střech. Tam, kde bychom použili jednoplášťovou střechu, může být střecha dvouplášťová.

Dolní plášť se obvykle skládá z podkladu a tepelné izolace. Podkladem, čili nosnou konstrukcí, bývá zpravidla železobetonová, monolitická deska nebo konstrukce z keramických částí. Vždy se doporučuje těsně pod tepelnou izolaci vložit parotěsnou vrstvu z důvodu zjednodušení provětrávání vzduchové vrstvy. Jako tepelný izolant se v tomto případě používá hydrofobizovaná minerální nebo skelná vlna, případně foukaná celulóza, které se kladou v několika vrstvách pro eliminaci tepelných mostů.

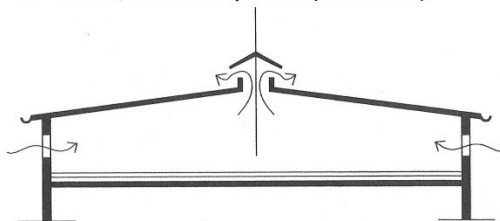


Obr. 15 Schéma funkce větrané dvouplášťové ploché střechy (převzato z [5])

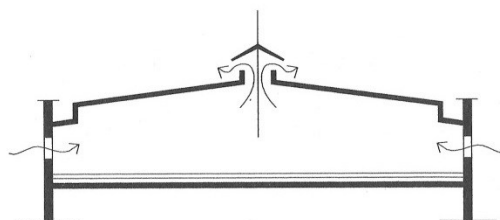
Horní plášť tvoří nosná vrstva a povlaková hydroizolace. Někdy můžeme mezi tyto vrstvy vložit doplňkovou tepelně izolační vrstvu. Nejčastěji se setkáváme s lehkou nosnou vrstvou, která je vyrobena z bednění, překližek nebo jiných dřevěných desek typu OSB. V tomto

případě používáme stejné hydroizolační krytiny i tepelné izolanty jako u jednoplášťových střech s klasickým pořadím. Obrácenou střechu však lze aplikovat pouze na horní nosnou konstrukci z betonu nebo lehkého betonu z důvodu únosnosti celého souvrství, které se musí přitěžovat. Tepelný izolant musí být stejně jako u jednoplášťových střech extrudovaný polystyren. Příklady dvouvrstvých střech jsou na obrázku 16.

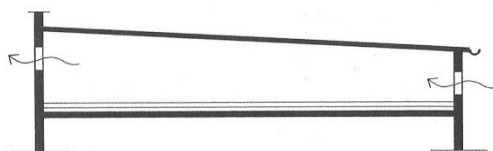
a. sedlová střecha s podokapními žlaby



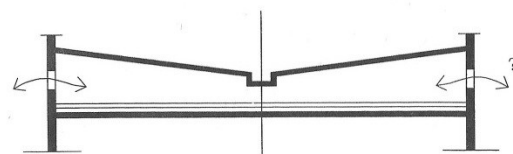
b. sedlová střecha se zaatikovými žlaby



c. pultová střecha



d. motýlková střecha s mezistřešním žlabem*



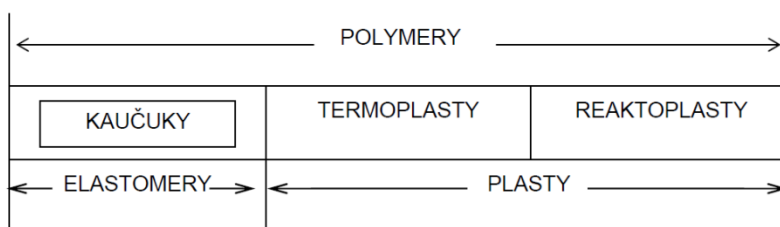
Obr. 16 Charakteristické typy větraných dvouplášťových plochých střech (převzato z [5])

4. Hydroizolační fólie na bázi EPDM

4.1 Co je materiál EPDM

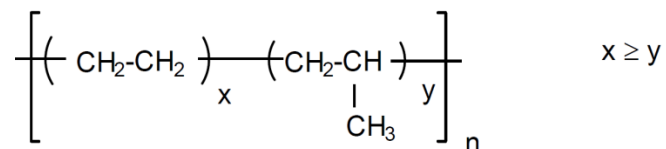
EPDM neboli etylén-propylén-dien-monomer je látka, která patří do skupiny elastických polymerů neboli elastomerů.

Polymery jsou chemické látky neobvyklé šíře vlastností, obsahující ve svých molekulách většinou atomy uhlíku, vodíku a kyslíku, často dusíku, chloru i jiných prvků [1]. Dělíme je na elastomery a na plasty (viz obr. 17). Elastomery se na rozdíl od plastů jednoduše deformují bez důsledku jejich porušení a tento jev je vratný. Nejvýznamnější skupinou elastomerních polymerů jsou kaučuky. EPDM patří mezi syntetické kaučuky.



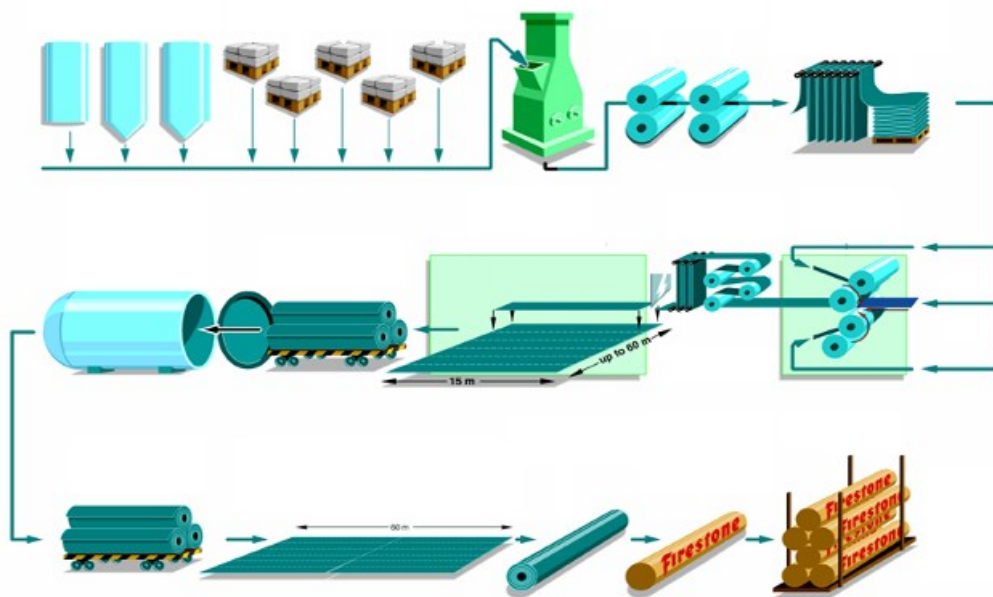
Obr. 17 Skupiny polymerů (převzato z [1])

Základními monomerními jednotkami řetězce jsou etylen a propylen, které spolu vytváří tzv. kopolymer etylenu s propylenem neboli EPM a ten tvoří páteř makromolekuly (hlavní řetězec) (viz obr. 18). Terpolymer EPM je zcela nasycený uhlíkový řetězec, a proto je velmi stabilní. Vyznačuje se dobrou odolností vůči teplotám, ozónu nebo atmosférickému stárnutí. Jednotky jsou statisticky zcela nahodile uspořádány, jejich poměr bývá zpravidla 50 – 70 % etylenu a 30 – 50 % propylenu. Na tento hlavní řetězec se váže nekonjugovaný dien. Zpravidla se vyskytuje v množství mezi 5 – 10 %. Rychlost vulkanizační reakce je závislá na jeho množství. Čím vyšší obsah, tím rychlejší reakce a schopnost reagovat i s jinými druhy kaučuků. Dien obsahuje nenasycené reaktivní vazby, které plní významnou funkci při vulkanizaci. Umožňují zesíťování makromolekul díky reakci těchto vazeb se sírou nebo peroxidy, což zajistí potřebné mechanické vlastnosti tohoto materiálu. Ztrácí se tavitelnost a termoplasticita a materiál je nově tvarově stálý za zvýšených teplot a odolnější vůči chemikáliím. Proces, kterým se EPDM vyrábí, se nazývá roztoková polymerace [1].



Obr. 18 Kopolymer ethylenu s propylemen (EPM) (převzato z [1])

Při průmyslové výrobě se k základní surovině přidávají ještě další složky, které vylepšují materiálové vlastnosti výsledného produktu. Mezi nejdůležitější patří gumárenské (technické) saze, bentonit, záměsové oleje a látky urychlující vulkanizaci. Technické saze zvyšují odolnost proti UV záření a zvyšují pevnost v tahu, bentonit zajišťuje rozměrovou stabilitu a také zlepšuje požární vlastnosti. Záměsové oleje je nutné přidávat z důvodu spojení všech látek do jednoho celku a vytvoření hmoty. Usnadňují tím proces míchání a poskytují flexibilitu. Celý proces výroby je názorně zobrazen na obrázku 19 [17]

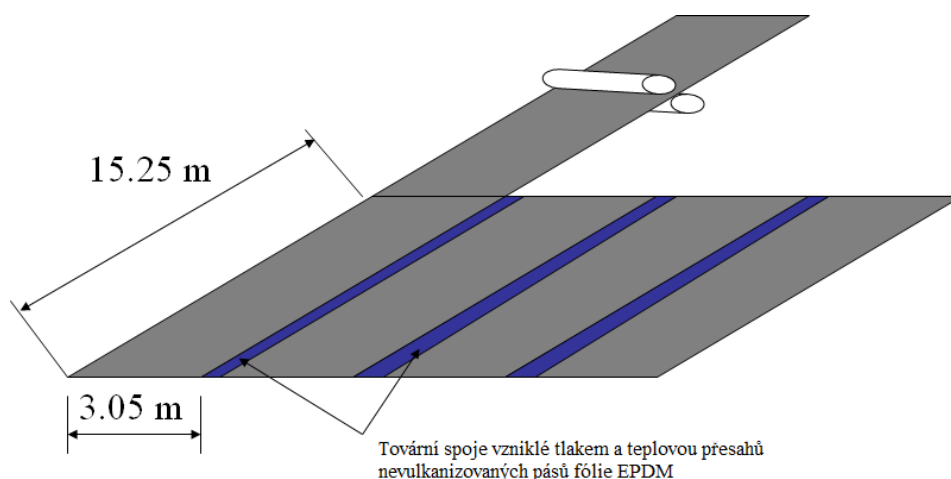


Obr. 19 Schéma výroby EPDM fólií americké firmy Firestone



Obr. 20 Kalandrování (válnování) dvou nevulkanizovaných vrstev materiálu EPDM

Výroba začíná smícháním základních složek ve speciální míchačce. Výsledkem tohoto míchání je tzv. předsměs. Ta se chladí a posléze opět míchá. V této fázi se k ní přidávají aktivátory a odebírají se vzorky vzniklé směsi pro ověření jejího složení. Termoplastická hmota se nechá den uležet. Následuje proces kalandrování, kde se k sobě válcují vždy dvě vrstvy tohoto materiálu (obr. 20 [17]), u některých pryží se mezi ně vkládá výztuž ze skelných vláken nebo tkaná polyesterová vložka. Z válcovací stolice jedou nevytvrzené pásy EPDM široké 3,05 m, které se chladí a řezou v délce 15,25 m. Tyto kusy se následně podélně spojují do jednoho pásu o délce 61 m (viz obr. 21). Místa jejich styku se označují tovární spoje. Celý povrch pásu se v další fázi sype mastkem. Zabráni se tak slepení materiálu při navíjení na roli.



Obr. 21 Vznik továrních spojů při výrobě fólie na bázi EPDM (převzato z [17])

Pryž se pak navíjí na kovové jádro a obalí se plastovou fólií. Takto připravená se vkládá do autoklávu (obr. 22), ve které je ponechána 2 hodiny v páře při teplotě 160°C. Zde probíhá proces vulkanizace. Vytvrzená pryžová plachta se poté znovu rozvine a kontroluje se její kvalita. Opět jsou odebrány vzorky pro kontrolu fyzikálních vlastností materiálu. Poté se rozřezává na požadovanou velikost, skládá, balí se a expeduje.



Obr. 22 Autokláv (převzato z [17])

4.2 Technické parametry a vlastnosti fólie na bázi EPDM

Pryžová fólie na bázi EPDM je vzhledem k její vulkanizaci inertní (chemicky netečná). Z tohoto důvodu velmi dobře odolává UV záření, ozónu i kyselým dešťům a zároveň se z ní po celou dobu životnosti neuvolňují žádné chemické látky. Nevyžaduje se ani jakákoliv dodatečná ochrana nebo údržba fólie. Nedoporučuje se však její kontakt s ropnými produkty, mazivy, oleji (minerálními i rostlinnými), živočišnými tuky nebo horkým asfaltem. Je také nutné vyloučit kontakt se zdroji tepla s teplotou vyšší než 82°C.

Materiál je velmi pružný a tvárný. Pružná zůstává fólie EPDM až do -45 °C. Zároveň je velmi stabilní za nízkých i vysokých teplot a odolává teplotní šokům do 250 °C.

Díky těmto vlastnostem se materiál na bázi EPDM využívá ve stavebnictví jako izolace vodních kanálů a vodních nádrží nebo jako těsnící materiál oken či dveří. Široké uplatnění našel také v automobilovém průmyslu, kde se z něj vyrábí pneumatiky, hadice chladičů a topení nebo brzdné díly.

Vzhledem k tomu, že předmětem této bakalářské práce je testování vlastností fólie na bázi EPDM americké firmy Firestone, jsou zde uvedeny technické údaje fólií tohoto výrobce.

S fólií na bázi EPDM se můžeme setkat buď ve formě homogenního pásu vyrobeného ze dvou vrstev materiálu EPDM, nebo ve formě pásu vyztuženého polyesterovými vlákny nebo tkanou polyesterovou vložkou s vysokou pevností. Do roku 2012 byly fólie vyráběny ze standardní směsi pro výrobu EPDM, jak je popsána v předchozí kapitole. Od roku 2013 se pro použití jako střešní hydroizolace do směsi začala přidávat příměs pro snížení hořlavosti materiálu. Tyto nové fólie EPDM se označují zkratkou LSFR (*low slope fire retardant* neboli nerozšiřující oheň na nízkých spádech).

Fólie na bázi EPDM jsou obvykle ve dvou tloušťkách 1,14 mm a 1,52 mm.

Pásky fólií jsou baleny do rolí šíře 3,2 m. Pokud je fólie širší, před srolováním se skládá. Standardní rozměry jsou 30,5 m nebo 61 m délky pásu a násobky 1 nebo 1,5 šíře role (viz tabulka č. 2). Největší rozměr fólie je 15,25 x 61 m. To umožňuje pokrýt i střechy větších rozměrů jedním kusem fólie, čímž se výrazně snižuje množství spojů hydroizolace, a tím i riziko netěsností těchto spojů ať už vlivem selhání lidského faktoru, či technologické nekázně.

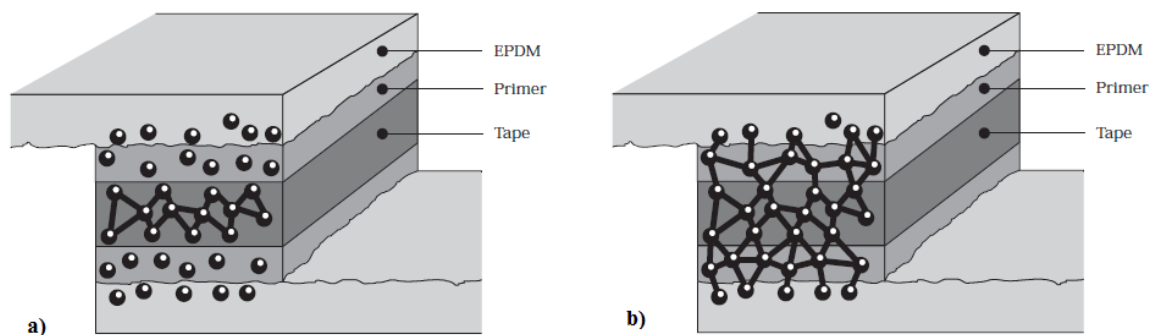
Pro stanovení vhodnosti použití tohoto materiálu se řídíme podobně jako u jiných hydroizolačních fólií harmonizovanou technickou normou ČSN EN 13956 a normami, na které dále odkazuje [13]. Nejdůležitější parametry jsou shrnuty v technickém listě, který je přílohou A. Podrobněji je tato problematika popsána v praktické části bakalářské práce.

Tab. 2 Přehled rozměrů a váhy fólií na bázi EPDM Firestone (převzato z [17])

Tloušťka (mm)	Šířka (m)	Délka (m)	Plošná hmotnost (kg/m ²)
1,14	2,3	15,25 30,5 61,0	1,41
	3,05		
	6,10		
	7,625		
	9,15		
	12,2		
1,52	15,25		
	5,08	30,5	1,41
	2,3		
	3,05		
	6,1		
	15,25		
1,52	5,08	30,5	1,95

Spojování fólií na bázi EPDM a jejich kotvení po obvodu

Vzhledem k tomu, že fólie na bázi EPDM jsou chemicky inertní, spoje se provádějí pomocí aktivátoru spojů a speciálních samolepících pásek. Povrch fólie není úplně hladký a obsahuje nepatrné rýhy a nepravidelnosti. Pomocí drátěnky se na něj nanáší aktivátor, který proniká do těchto nepravidelností a vytváří na fólii kontaktní plochu, která je chemicky aktivní. K té se přilepí samolepící páska a po zaschnutí vzniká velmi pevný spoj na základě molekulárních vazeb s vysokou odolností. Princip spoje je znázorněn na obrázku 23.



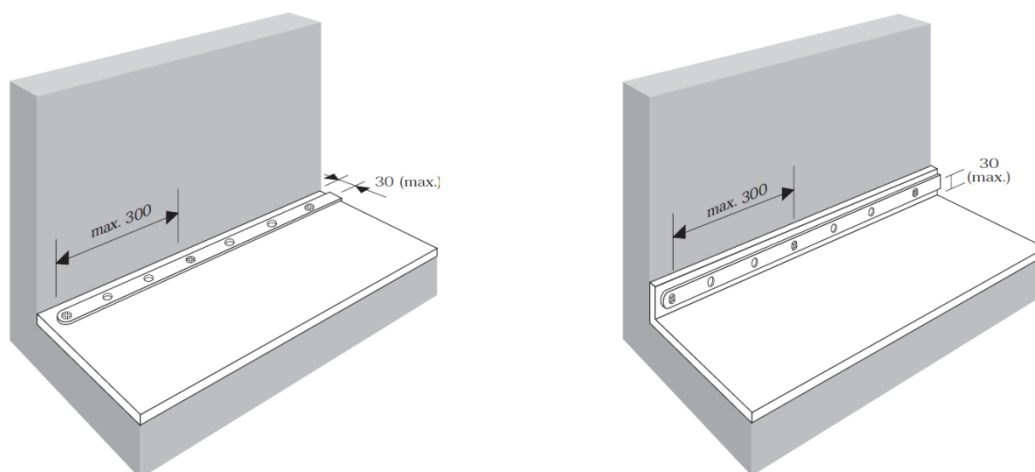
Obr. 23 Princip spojování fólií na bázi EPDM (převzato z [17])

a) spoj před zaschnutím, b) spoj po zaschnutí a vypaření rozpouštědel, EPDM – fólie na bázi EPDM, primer – aktivátor spojů, tape – samolepící páska

Kotvení fólie po obvodu konstrukce

Technologie instalace fólií EPDM požaduje, aby byly fólie na bázi EPDM v místě jejich ukončení nebo tam, kde mění směr v úhlu větším než 15° , mechanicky ukotveny. Kotvení eliminuje vlivy teplotní roztažnosti fólie. Můžeme se setkat se dvěma způsoby řešení.

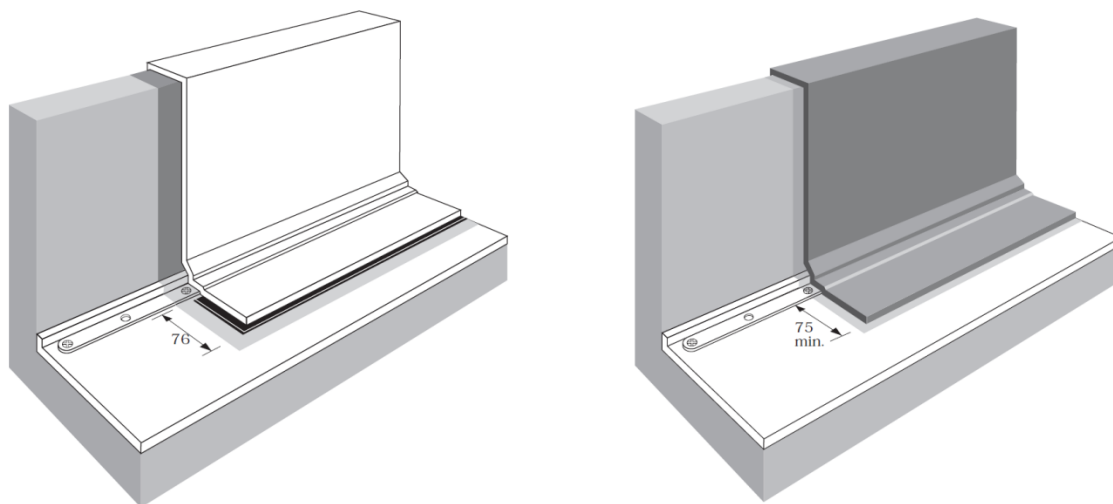
- I. Polymerové vyztužené kotvící pásy - tento systém se dnes již nevyužívá, v minulosti se používal na ocelové a dřevěné podklady např. prkenný nebo překližkový strop
- II. Kovové kotvící pásy – používá se na všechny typy střech, je vhodný i pro nepravidelné podklady jako jsou tvárnice, cihly nebo beton (obr. č. 24 [17]).



Obr. 24 Kotvení hydroizolace z EPDM materiálu pomocí kovových kotvících pásků do nosné konstrukce střechy (vlevo) a do atiky (vpravo)

V obou případech nesmí být vzdálenost vrutů větší než 300 mm.

Dle zvolené varianty kotvení se volí také metoda lemování zdí, což zabraňuje vniknutí vlhkosti v místě ukončení a kotvení hydroizolace. Fólie pokrývající zeď se přilepí k svislé stěně a podle zvolené technologie kotvení se lepí k pokladu. Při použití kovových kotvících pásek je možné použít pro lemování fólií ze samovulkanizujícího materiálu, která se přizpůsobuje tvaru střechy, lze ji formovat a lepí se přímo na střešní fólii bez nutnosti použití samolepících pásek. Příklady lemování zdí jsou na obrázku 25 [17].



Obr. 25 Příklady lemování zdí pomocí fólie na bázi EPDM (vlevo) a pomocí fólie ze samovulkanizačního materiálu (vpravo)

4.3 Způsoby aplikace fólie na bázi EPDM na ploché střechy

Zabezpečení střechy hydroizolační fólií na bázi EPDM je možno řešit třemi základními způsoby:

I. Volně položená fólie přitížená štěrkem nebo betonovými dlaždicemi

Používá se u klasického pořadí vrstev střešního souvrství a u obrácených střech. Fólie se volně pokládá na rovný povrch případně na vhodnou ochrannou vrstvu. Vedle sebe položené fólie se překrývají minimálně 10 cm a spojují se samolepící páskou. Celé souvrství se pak přitěžuje štěrkem, obvykle frakce 16-32 mm nebo drceným kamenivem o minimální plošné hmotnosti 50 kg/m^2 . Další možnost přitížení jsou betonové dlaždice s minimální tloušťkou 50 mm. Množství přitížení se posuzuje výpočtem sání větrem.

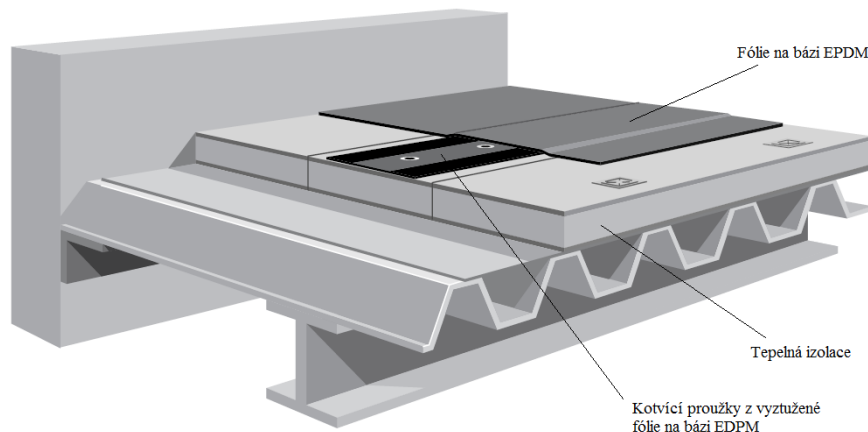
II. Celoplošně lepená fólie na bázi EPDM k podkladu

Systém se používá u střech s nepravidelným tvarem nebo pro střechy s omezenou nosností. Podklad musí být kompatibilní s lepidlem. Používají se fólie 3,05 m nebo 6,1 m šíře, překrývají se alespoň 15 cm a spojují se samolepící páskou.

III. Systém založený na kotvení fólie na bázi EPDM

Kotvení fólií na bázi EPDM může být provedeno třemi způsoby. Nejpoužívanějším je vyztužený mechanický kotvený systém. Na podklad se do vzdálenosti určené projektantem (dle výpočtu sání větrem) mechanicky kotví speciální pruhy z vyztužené EPDM membrány. Pruhy jsou široké 254 mm a z obou stran jsou opatřeny samolepícími páskami. Na ty se volně pokládají fólie, které se k přikotveným pruhům přilepí pomocí

samolepicích pásek (viz obr. 26). Zbylé dva systémy fungují na základě kotvení membrány a následného překrytí nebo lepení kotvených částí další vodotěsnou vrstvou.



Obr. 26 Schéma vyztuženého mechanicky kotveného systému EPDM na střeše
(převzato z [17])

4.4 Zkušenosti se střešní fólií na bázi EPDM v zahraničí

Společnost Firestone Building Products začala s výrobou hydroizolačních fólií z materiálu EDPM v 80.letech minulého století ve Spojených státech amerických. Navázala tak na dosavadní úspěchy ve výrobě pneumatik, která začala v roce 1900. Později se materiál začal používat na výrobu dalších výrobků pro automobilový průmysl. Vzhledem k jeho vlastnostem se využití stále rozšiřovalo. V dnešní době je využíván v mnoha odvětvích lidské činnosti, z nichž stavebnictví patří mezi ty stěžejní.

V USA jsou fólie na bázi EPDM velmi oblíbené. Bylo zde položeno více než 20 miliard m² na přibližně 500 tisíc střech.

Odolnost proti krupobití

V roce 2007 byl zveřejněn dlouholetý výzkum prováděný v USA zaměřený na odolnost jednotlivých střešních hydroizolací proti kroupám [7]. Středozápad a východ země pokrývá oblast, která je sužována silnými bouřemi s krupobitím. Hranice této oblasti se navíc rok od roku posunují. Okrajové oblasti jsou zasaženy čím dál tím častěji a s větší intenzitou. Jedná se o závažný problém a selhání střešního systému vlivem těchto bouří může způsobit velké škody. V rámci tohoto výzkumu bylo zkoušeno několik hydroizolačních vrstev včetně

modifikovaných asfaltů APP i SBS, měkčené PVC fólie a fólie na bázi EPDM. Zkoušky probíhaly v terénu přímo na zasažených střeších.

Modifikovaný asfalt APP, který je plastický, měl díky této vlastnosti sklony k praskání, což způsobovalo zatékání do střešní konstrukce. Modifikace SBS je sice odolnější, vlivem silných bouří však byla často odstraněna jejich vrchní krycí vrstva. Tento materiál poté není chráněn před UV zářením, což způsobuje jeho předčasné stárnutí, a musí být vyměněn.

Měkčené PVC, především s monomerickými změkčovadly, časem křehnou a stávají se velmi náchylné k poškození kroupami (viz obr. 27)



Obr. 27 Měkčené PVC poškozené kroupami (převzato z [7])

Střechy s hydroizolací z EPDM materiálu, které byly zasaženy silným krupobitím, nevykazovaly žádné známky poškození (obráz. 28). Kromě rozměrů uvedených v předchozí kapitole, se pro tento trh vyrábí také fólie o tloušťce 2,28 mm, která je proti kroupám vysoce odolná. Výrobci těchto střešních systémů dokonce garantují v některých případech i 30 letou záruku proti krupobití.



Obr. 28 Střešní fólie na bázi EPDM zasažená krupobitím, bez známek poškození (převzato z [7])

Dlouhodobé vlastnosti EPDM fólií

Pod vedením asociace ERA (*EPDM Roofing Association*) vznikla studie, která popisuje vlastnosti EPDM fólií, které jsou zabudovány na střeše 28 až 32 let z různých částí USA [8]. Výsledky studie ukazují, že různě staré vzorky mají hodnoty mechanických vlastností buď vyšší, nebo těsně pod hranicí minimální normové hodnoty určené pro nové fólie. Vzhledem k používání odlišných norem, zkoušek a měrných jednotek, jsou níže uvedeny pouze výsledné hodnoty tažnosti, které jsou nejsledovanější vlastností těchto fólií. Ve Spojených státech amerických je dle normy ASTM D4637 minimální hodnota tažnosti nových fólií 350 %, u starších se uvádí hodnota 200 %.

Tab. 3 Výsledky testů tažnosti z 28, 29 a 32 let starých střech z materiálu EPDM [8]

Vzorek	Typ střechy/Místo odběru	Stáří vzorku	Výsledek testu
1	Přitěžovaný systém / Marquette, Michigan	32	252,71 %
2	Přitěžovaný systém / Marquette, Michigan	29	494,07 %
3	Přitěžovaný systém / Asheboro Severní Karolína	28	339,23 %
4	Přitěžovaný systém / West Bend, Wisconsin	29	287,05 %
5	Plně lepený systém / Barrington, Illinois	29	165,51 %

Výsledky zkoušek tažnosti potvrzují, že tento materiál je i po přibližně 30 letech plně funkční, a to i přes to, že musí odolávat extrémnímu střídání počasí a změnám teplot. Lze předpokládat, že tyto střechy se přiblíží hranici 40 let své životnosti a v mnohých případech tuto hranici překročí.

5. Srovnání vlastností dlouhodobě namáhaných střešních fólií na bázi EPDM

5.1 Vzorky fólie na bázi EPDM testované pro srovnání mechanických vlastností materiálu

Zkušební vzorek č. 1 - Střešní fólie na bázi EPDM z roku 1993 v tloušťce 1,14 mm

Místo odběru:

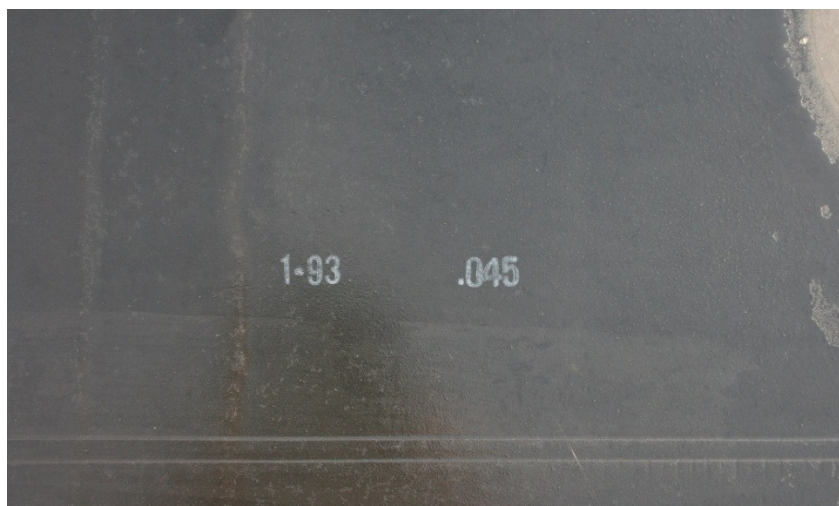
Střeška krytého bazénu v Karviné, na ulici Leonovova 1797/1, viz obr 29. Jedná se o komplex několika budov na sebe navzájem napojených s různou výškovou úrovní. Komplex je majetkem STaRS Karviná, s.r.o., která provozuje a spravuje sportovní a rekreační zařízení v městě Karviná.



Obr. 29 Fotografie komplexu krytého bazénu na ulici Leonovova v Karviné z ptačí perspektivy [9]

Vzorek byl odebrán ze střechy budovy „B“, kde se nachází hlavní bazén. Budova je 31 m dlouhá a 22 m široká, střecha se nachází ve výšce 10,6 m. Střešní fólie pokrývá zhruba 762 m². Spádování je zde 2 %. Kotvení bylo provedenou kombinací volně položené fólie přitížené betonovými dlaždicemi po obvodu a středem střechy byla hydroizolace kotvena pomocí kotvících pásků. Důvodem byla omezená únosnost střechy, která nedovolovala celoplošné přitížení. Testovaná fólie byla vyrobena v roce 1993 (viz obr. 30).

Instalace povlakové hydroizolace na bázi EPDM byla uskutečněna v létě roku 1994. Jednalo se o nahrazení původní hydroizolační vrstvy z asfaltových pásů, která již neplnila svou funkci.



Obr. 30 Označení hydroizolační fólie na střeše budovy „B“ krytého bazénu v Karviné datem výroby 1-93 a tloušťkou fólie v palcích 045 (1,14 mm)

Popis vzorku:

Vzorek má velikost přibližně 0,7 x 0,9 m, byl odebrán v těsné blízkosti atiky v místě, kde je hydroizolační vrstva přitížena betonovými dlaždicemi. Vzorek obsahuje také spoj dvou sousedních fólií pomocí samolepící pásky. Pod spojem se nachází část fólie, která zůstala chráněna před UV zářením, ozónem a vlivy vnějšího prostředí. Tato část byla zkoušena jako nepoužitá fólie.

Odběr vzorku:

Odběr byl uskutečněn dne 19.11.2013 mezi 11:00 a 12:00. Teplota vzduchu se pohybovala kolem 10°C. Během odběru bylo slunečno, hydroizolace však byla místy mokrá po ranních srážkách.

V místě odběru vzorku byly odstraněny dlaždice a vyčištěn povrch od hrubých nečistot. Místa, na kterých ležely betonové dlaždice, byla označena křídou. Poté byla označena část hydroizolace, která bude odebrána, a nahrazena novou (viz obr. 31). Podél vyznačených hranic se fólie vyčistila vodou, drátěnkou se nanese aktivátor a na něj se přilepila samolepící páska. Z jedné strany se k pásce připevnila nová fólie a teprve v tomto kroku se odebral vzorek fólie (viz obr. 32). Po odběru se nová fólie přilepila ze všech stran k samolepící pásce a spoje se zpevnily pomocí gumového válečku. Dle technologického postupu se místa, kde byl původní spoj dvou fólií, a rohy nově instalované části hydroizolace lepí fólií ze samovulkanizujícího materiálu (viz obr. 33).



Obr. 31 Označení místa odběru vzorku střešní hydroizolace



Obr. 32 Odběr vzorku pryžové fólie a příprava na nahrazení chybějící části



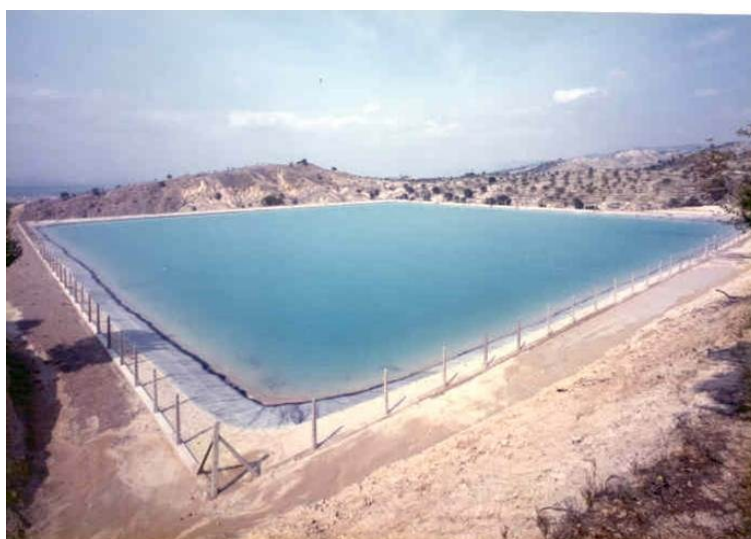
Obr. 33 Zajištění nové fólie v rozích a u spojů dvou fólií samovulkanizující fólií

Vzorek byl testován v laboratořích Kiwa BDA Testing B.V. v Nizozemí dne 6.2.2014 viz příloha B.

Zkušební vzorek č. 2 – Geomembrána na bázi EPDM z roku 1993 v tloušťce 1,14 mm

Místo odběru:

Jedná se o fólii odebranou z horní části zavlažovací nádrže ve Španělsku (viz obr. 34). Horní část této nádrže není téměř po celou dobu její životnosti pod vodou a je tak vystavena stejnému působení UV záření a vlivům vnějšího prostředí jako střešní fólie ze stejného materiálu.



Obr. 34 Zavlažovací nádrž ve Španělsku sloužící k zemědělským účelům

Popis vzorku:

Testovaný vzorek byl vyroben v roce 1993. Ke vzorku nebyly uvedeny žádné další informace.

Odběr vzorku:

Vzorek byl odebrán začátkem roku 2012. Testován byl v únoru 2012 v laboratoři LGAI Technological Center, S.A. ve Španělsku (viz příloha C).

Poznámka: Vzorek č. 2 měla být původně střešní fólie na bázi EPDM z roku 1993, instalovaná v roce 1994 na střechu továrny společnosti Honda ve Swindonu ve Velké Británii. Zkoušena měla být ve stejné laboratoři a na totožné mechanické vlastnosti dle aktuálních norem jako vzorek č. 1. Tento vzorek z důvodu ztráty během dodávky do laboratoře zkoušen nebyl a z časových důvodů nebylo reálné odebrat, odzkoušet a vyhodnotit vzorek nový. Proto byla jako náhrada vybrána geomembrána z EPDM materiálu stejného stáří. Do roku 2012 byly střešní fólie a fólie pro použití jako geomembrány naprosto totožné (stejné složení směsi, pouze jiný obchodní název).

Zkušební vzorek č. 3 – Nová střešní fólie na bázi EPDM v tloušťce 1,14 mm

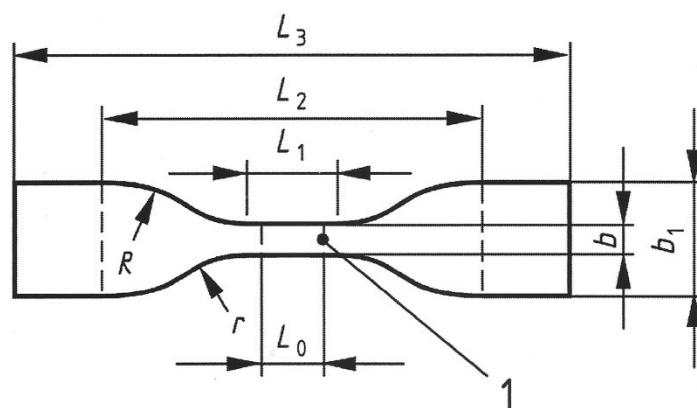
Vzorek byl odebrán z nové nepoužité fólie. Testován byl v laboratoři Belgian Building Research Institute v Belgii v období od prosince 2011 do dubna 2012. Protokol o zkoušce je ze dne 28.6.2012 (příloha D).

5.2 Metodika zkoušených mechanických vlastností fólie na bázi EPDM

Stanovení tahových vlastností

Zkušební tělesa ze zkušební vzorku č. 1 a č. 3 byly testovány dle normy ČSN EN 12311-2 z roku 2013 Hydroizolační pásy a fólie – Stanovení tahových vlastností, Část 2: Plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech.

Ze zkušební vzorku se připravilo 10 zkušebních těles pro testování metodou B (obr. 35). Sada pěti zkušebních těles pro podélný směr a sada pěti zkušebních těles pro příčný směr [11]. Tloušťka zkušební tělesa se stanoví jako účinná tloušťka fólie dle ČSN EN 1849-2.



Obr. 35 Tvar zkušebního tělesa pro zkoušku v tahu, 1 – měřicí značka (převzato z [11])

Zkušební těleso musí být očištěno od nečistot a minimálně 20 hodin před zkouškou je umístěno v prostředí s teplotou $23 \pm 2^\circ\text{C}$ a relativní vlhkostí $50 \pm 5\%$. Do čelistí trhačního stroje se pevně upíná a je třeba zkontrolovat, zda je vyrovnaná osa zkušebního tělesa s osou trhačního stroje. Zkouška probíhá oddalováním čelistí trhačního stroje konstantní rychlostí až do přetržení zkušebního tělesa. Rychlost oddalování upínacích čelistí je u tohoto materiálu 500 ± 50 mm/min. Zkouškou se stanoví tažnost a tahové napětí. Tažnost se uvádí v procentech základní délky. Tahové napětí se vypočítá z účinné tloušťky zkušebního tělesa v jednotkách N/mm^2 dle ČSN EN 1849-2. Hodnoty se uvádí pro každý směr včetně jejich aritmetického průměru a směrodatné odchylky tahového napětí. Na základě provedených testů se vypracuje protokol o zkoušce, ve kterém se uvádí naměřené výsledky [11].

Zkušební vzorek č. 1 byl rozdělen na část exponovanou UV záření, část pod betonovou dlažbou a část, která byla pod hydroizolací. Z každé části byla vytvořena jedna testovací sada, testovány byly 3 sady zkušebních těles.

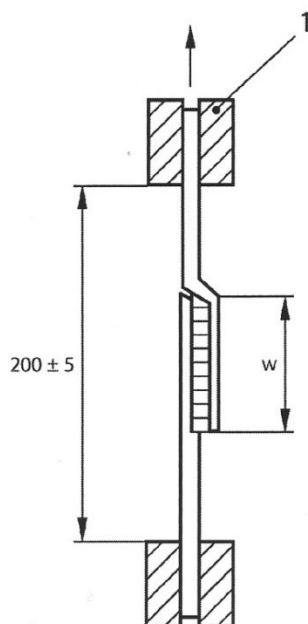
Zkušební vzorek č. 3 byl testován třemi sadami zkušebních těles. První sada byla zkoušena standardně, druhá sada byla před zkouškami vystavena teplotě 80°C po dobu 28 a třetí sada teplotě 70°C po dobu 12 týdnů.

Zkušební vzorek č. 2 byl testován dle EN ISO 527-1 z roku 1996 Plasty – Stanovení tahových vlastností – Část 1: Základní principy a EN ISO 527-3 z roku 2003 Plasty – Stanovení tahových vlastností – Část 3: Zkušební podmínky pro fólie a desky. Zkouší se stejný počet a stejný tvar zkušebních těles jako dle postupu v ČSN EN 12311-2. Zkoušení probíhá za stejných podmínek, liší se v rychlosti oddalování čelistí. Vzorky byly zkoušeny při konstantní rychlosti 100 ± 10 mm/min [14], [15].

Stanovení smykové odolnosti ve spojích

Smykovou odolností ve spoji byly zkoušeny vzorky č. 1 a 3 dle normy ČSN EN 12317-2 z roku 2010 Hydroizolační pásy a fólie - Stanovení smykové odolnosti ve spojích – Část 2: Plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střeš.

Zkouška se provádí na 5 zkušebních tělesech, které jsou před testováním po dobu minimálně 2 hodin vystaveny teplotě $23 \pm 2^\circ\text{C}$ a relativní vlhkosti $50 \pm 5\%$. Zkušební tělesa jsou pravoúhlá o šířce 50 ± 1 mm, vyříznuta tak, aby byla kolmo na spoj. Délka musí být upravena tak, aby počáteční vzdálenost mezi oběma čelistmi byla 200 ± 5 mm a aby spoj byl uprostřed [12] viz obr. 36.



Obr. 36 Zkouška smykové odolnosti ve spojích, 1 – čelist trhacího stroje, w – šířka spoje, číselné hodnoty jsou v mm (převzato z [12])

Zkušební tělesa se pevně upnou v čelistech trhacího zařízení, tak aby podélná osa zkušebního tělesa a osy trhacího stroje a čelisti byly vyrovnány [12]. Z důvodu možného posunutí tělesa v čelistech se před zkouškou těleso v upínacích čelistech označí. Čelisti se od sebe oddalují konstantní rychlostí 100 ± 10 mm/min. až do porušení zkušebního tělesa. Zaznamenává se hodnota tahové síly v Newtonech, ze které se vypočítá hodnota smykové odolnosti ve spoji (N/50 mm). Uvádí se také směrodatná odchylka a způsob porušení všech zkušebních těles.

Zkušební vzorek č. 3 byl testován dvěma sadami zkušebních vzorků, první sada byla zkoušena standardně, druhá sada byla před zkouškou ponořena do vody po dobu 7 dní při stálé teplotě 60°C . V jedné sadě bylo zkoušeno 5 testovacích těles [12].

5.3 Výsledky laboratorních zkoušek vlastností hydroizolačních fólií na bázi EPDM

Získali jsme sedm sad výsledků zkoušek pro tažnost, sedm sad výsledků pro tahové napětí a tři sady výsledků pro smykovou odolnost v tahu. Průměrem je označen aritmetický průměr naměřených hodnot.

I. Tahové vlastnosti

Tab. 4 Výsledky laboratorních zkoušek tažnosti zkušebního vzorku č. 1

Vzorek č. 1 - Tažnost (%)						
Zkouška č.	Exponovaná část		Část pod betonovou dlažbou		Část schovaná pod hydroizolací	
	Podélný směr	Příčný směr	Podélný směr	Příčný směr	Podélný směr	Příčný směr
1	274	264	340	274	326	294
2	289	250	353	345	316	298
3	294	244	363	339	350	274
4	213	254	378	237	349	316
5	253	266	351	336	341	342
Průměr	260,1		331,6		320,6	

Tab. 5 Výsledky laboratorních zkoušek tažnosti zkušebního vzorku č. 2

Vzorek č. 2 - Tažnost (%)		
zkouška č.	Podélný směr	Příčný směr
1	298	297
2	274	291
3	283	289
4	285	280
5	291	305
Průměr	289,3	

Tab. 6 Výsledky laboratorních zkoušek tažnosti zkušebního vzorku č. 3

Vzorek č. 3 - Tažnost (%)						
zkouška č.	Nepoužitá část		Část vystavená teplotě 80°C po 28 dní		Část vystavená teplotě 70°C po 12 týdnů	
	Podélný směr	Příčný směr	Podélný směr	Příčný směr	Podélný směr	Příčný směr
1	427,5	485,2	386,3	336,1	401,0	360,2
2	440,5	486,9	379,3	395,7	386,0	402,0
3	441,3	428,8	372,5	383,5	385,1	412,8
4	459,9	473,4	384,9	373,0	381,4	428,8
5	459,3	469,0	-	388,8	375,4	390,3
Průměr	457,2		377,8		392,3	

Tab. 7 Výsledky laboratorních zkoušek tahového napětí zkušebního vzorku č. 1

Vzorek č. 1 - Tahové napětí (N/mm ²)						
Zkouška č.	Exponovaná část		Část pod beton. dlažbou		Část schovaná pod hydroizolací	
	Podélný směr	Příčný směr	Podélný směr	Příčný směr	Podélný směr	Příčný směr
1	10,93	10,00	10,31	10,10	11,19	11,27
2	11,06	10,00	10,92	10,76	11,03	11,43
3	10,93	9,25	10,94	10,68	11,55	10,70
4	9,80	9,53	11,07	10,12	11,74	11,93
5	10,65	10,02	10,69	11,02	10,84	11,69
Průměr	10,2		10,7		11,3	

Tab. 8 Výsledky laboratorních zkoušek tahového napětí zkušebního vzorku č. 2

Vzorek č. 2 - Tahové napětí (N/mm ²)		
Zkouška č.	Podélný směr	Příčný směr
1	8,9	8,4
2	8,9	8,8
3	8,9	8,8
4	9,2	8,6
5	9,2	8,9
Průměr	8,9	

Tab. 9 Výsledky laboratorních zkoušek tahového napětí zkušebního vzorku č. 3

Vzorek č. 3 - Tahové napětí (N/mm ²)						
Zkouška č.	Nepoužitá část		Část vystavená teplotě 80°C po 28 dní		Část vystavená teplotě 70°C po 12 týdnů	
	Podélný směr	Příčný směr	Podélný směr	Příčný směr	Podélný směr	Příčný směr
1	8,97	8,28	9,91	8,37	10,32	8,69
2	9,04	8,01	10,21	9,24	10,21	9,20
3	8,86	8,30	10,04	9,36	9,78	9,22
4	8,95	8,47	9,45	9,03	10,61	10,13
5	9,07	8,63	-	9,81	10,17	9,59
Průměr	8,7		9,5		9,8	

II. Smyková odolnosti ve spoji

Tab. 10 Výsledky laboratorních zkoušek smykové odolnosti spoje zkušebního vzorku č. 1

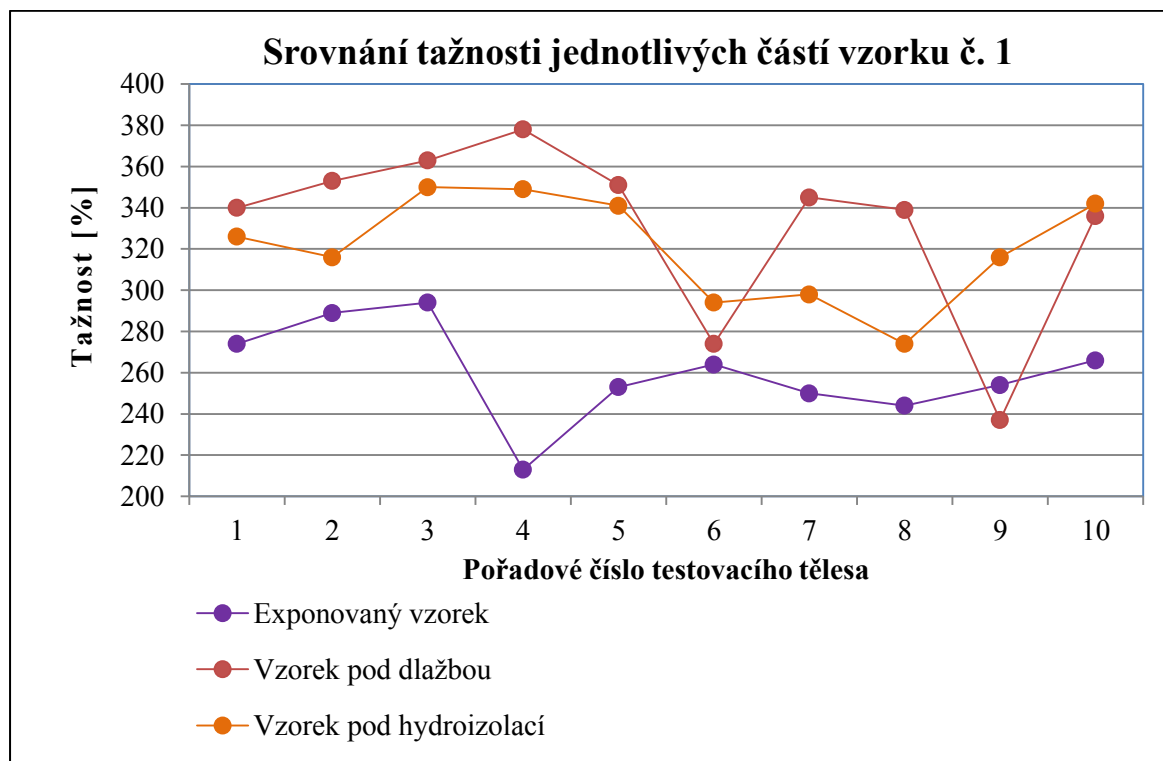
Zkouška č.	Smyková odolnost ve spoji (N/50 mm)
1	364
2	348
3	337
4	363
5	350
Průměr	352

Tab. 11 Výsledky laboratorních zkoušek smykové odolnosti spoje zkušebního vzorku č. 3

Zkouška č.	Smyková odolnost ve spoji (N/50 mm)	Smyková odolnost ve spoji po 7 dnech ve vodě při teplotě 60°C (N/50 mm)
1	265	302
2	271	329
3	247	308
4	269	310
5	283	318
Průměr	267	314

5.4 Zjišťování vlivu UV záření, ozónu a vnějších vlivů na životnost hydroizolační vrstvy na bázi EPDM

I. Tahové vlastnosti

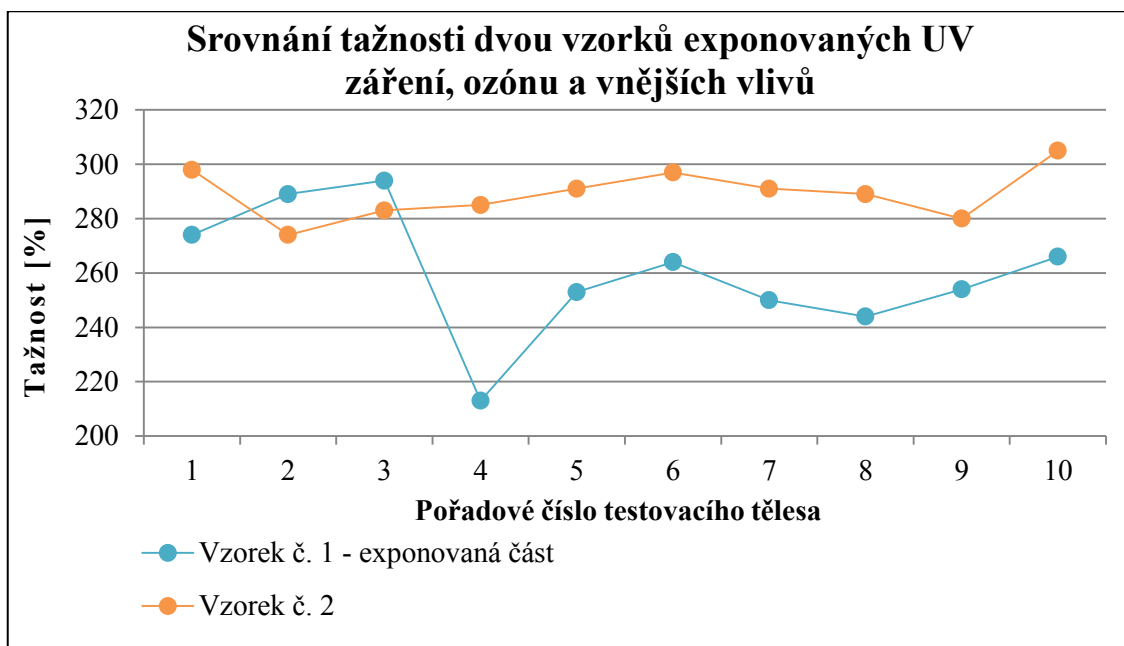


Graf 1 Srovnání výsledků laboratorních testů tažnosti testovaných částí vzorku č. 1

Srovnání tažnosti testovaných vzorků ze střechy krytého bazénu v Karviné je uvedeno v grafu 1. Ačkoliv se jedná o stejný materiál stejného stáří, výsledky zkoušek vlastností jednotlivých částí hydroizolace se výrazně liší. Z grafu je zřejmé, že vzorek ničím nechráněný proti vlivům vnějšího prostředí, včetně UV záření a ozónu, má daleko nižší tažnost než totožná fólie na bázi EPDM, která byla před těmito vlivy chráněna betonovou dlažbou a fólií krytou hydroizolací. Průměrná hodnota tažnosti exponované části je 260,1 %, tažnost části ukryté pod betonovou dlažbou 331,6 % a části pod hydroizolací 320,6 % (viz tab.3). Nejlepší výsledky jsou tedy u pryžové fólie kryté dlažbou. Důvodem je fakt, že betonová dlažba je lepší tepelný izolant než tenká vrstva fólie na bázi EPDM, která má černou barvu, a fólie tak byla pod dlažbou lépe chráněna proti vysokým teplotám. Proto zde neprobíhala dodatečná vulkanizace tak významně a zachovaly se lepší tahové vlastnosti.

Z průměrných naměřených hodnot také vyplývá, že i po 20. letech své funkčnosti stále vykazují části kryté před UV zářením průtažnost splňující normové požadavky (vyšší

než 300%). Vzorek, který nebyl chráněn proti UV záření, má hodnotu nižší o 13 % oproti normovému minimu.



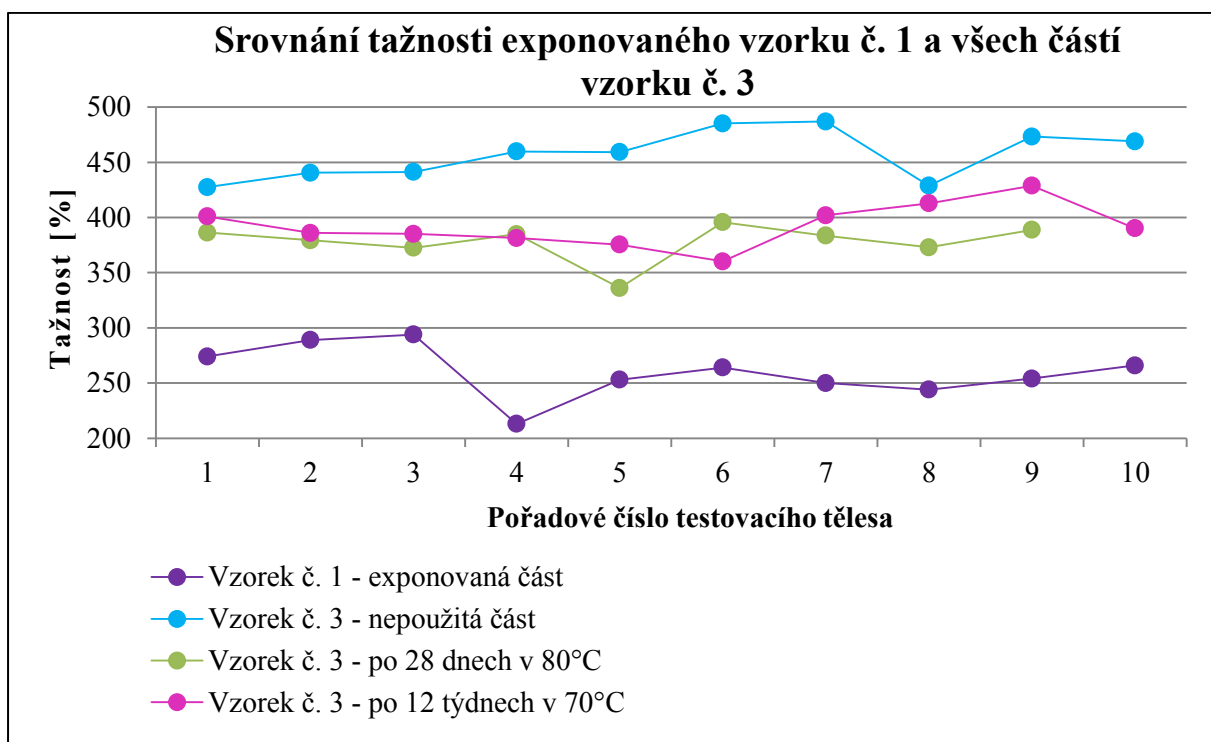
Graf 2 Srovnání výsledků laboratorních zkoušek tažnosti pryžových fólií na bázi EPDM vyrobených v roce 1993

Srovnání výsledků tažnosti dvou téměř stejně starých materiálů hydroizolace na bázi EPDM je v grafu 2. Z něj vyplývá, že vzorek odebraný v České republice má nižší tažnost oproti vzorku odebranému ve Španělsku. Předpoklad byl, že vzorky stejného stáří budou vykazovat přibližně stejné výsledky tažnosti, maximálně se budou lišit ve prospěch vzorků z České republiky. Horší výsledky vzorků odebíraných ve Španělsku byly očekávány kvůli faktu, že ve Španělsku působily na fólii daleko vyšší teploty a dávky UV záření po delší dobu, než tomu bylo u fólie v ČR. Tento výsledek však může být způsoben rozdílnou skladbou směsi při výrobě nebo jinou rychlostí oddalování čelistí trhačského stroje vzhledem ke zkoušení vzorků dle rozdílných norem (viz kapitola 5.2), a proto pro nás nemá seriózní vypovídající hodnotu.

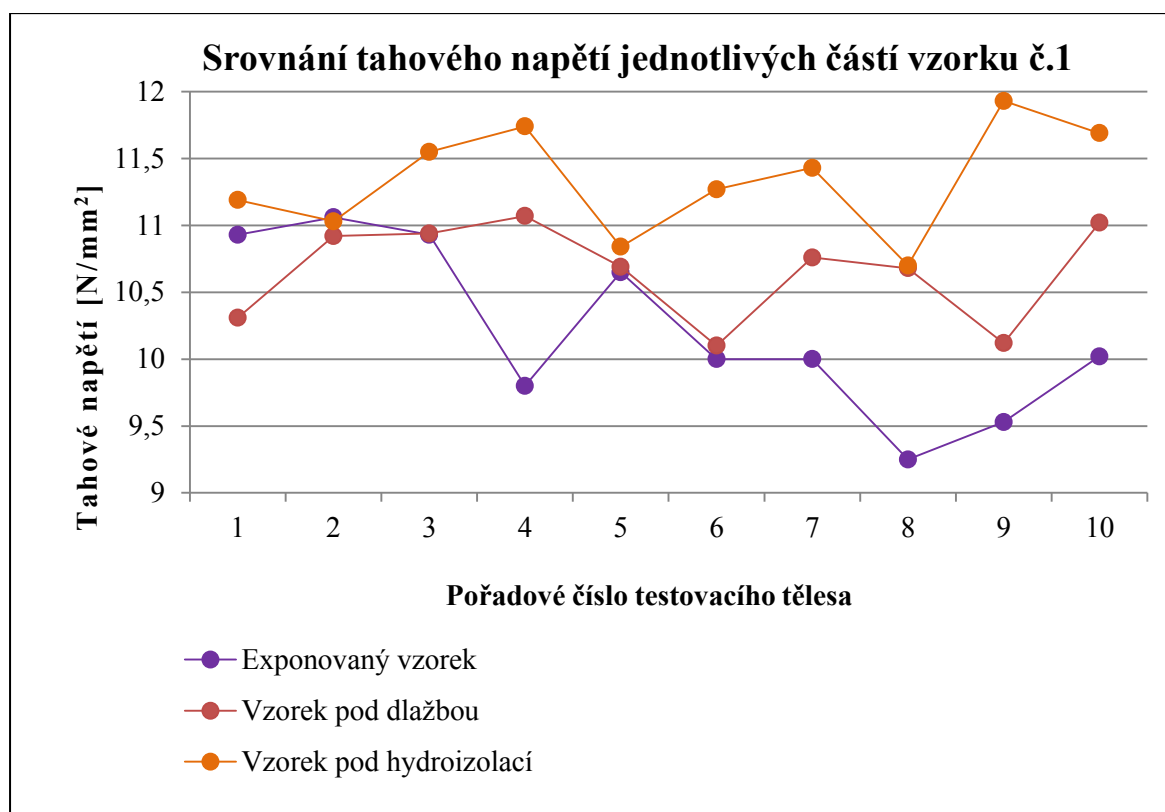
Zcela zásadní výsledky jsou uvedeny v grafu č. 3. Zde je patrný velmi výrazný rozdíl výsledků testů tažnosti a v řádech stovek procent. Je zde srovnání hydroizolační fólie vyrobené v roce 1993 a fólie zcela nové. Pro srovnání jsou v grafu uvedeny i výsledky materiálu EPDM, který byl vystaven dvěma různým účinkům umělého stárnutí vlivem zvýšených teplot. Konkrétně vystavení účinkům stálé teploty 80°C po dobu 28 dní a vystavení

účinkům stálé teploty 70°C po dobu 12 týdnů. Průměrná tažnost zkušebních těles nové fólie je 457,2 %, průměrná tažnost testovaného vzorku fólie z roku 1993 je 260,1 % (viz tab. 5). Bylo zjištěno snížení tažnosti hydroizolační fólie o 43,1 %.

Zajímavé jsou však také výsledky vzorků vystavených umělému stárnutí. Ačkoliv se jednalo o relativně krátké časové intervaly, po které byly vzorky vystaveny vysokým teplotám, i zde došlo ke snížení tažnosti. Snížení průměrné hodnoty tažnosti nové fólie a fólie vystavené teplotě 80°C po dobu 4 týdnů je o 17,4 %. U fólie vystavené teplotě 70°C po dobu 12 týdnů je snížení tažnosti o 14,2 %. Jedná se zhruba o čtvrtinu hodnoty, kterou jsme zjistili u fólie z roku 1993. Tyto výsledky lze vysvětlit tím, že vlivem vysokých teplot dochází v EPDM materiálu k dodatečné vulkanizaci. Tento jev probíhá v počátcích zabudování hydroizolace na střechu, časem se proces téměř zastaví a probíhá pouze v nepatrném měřítku.



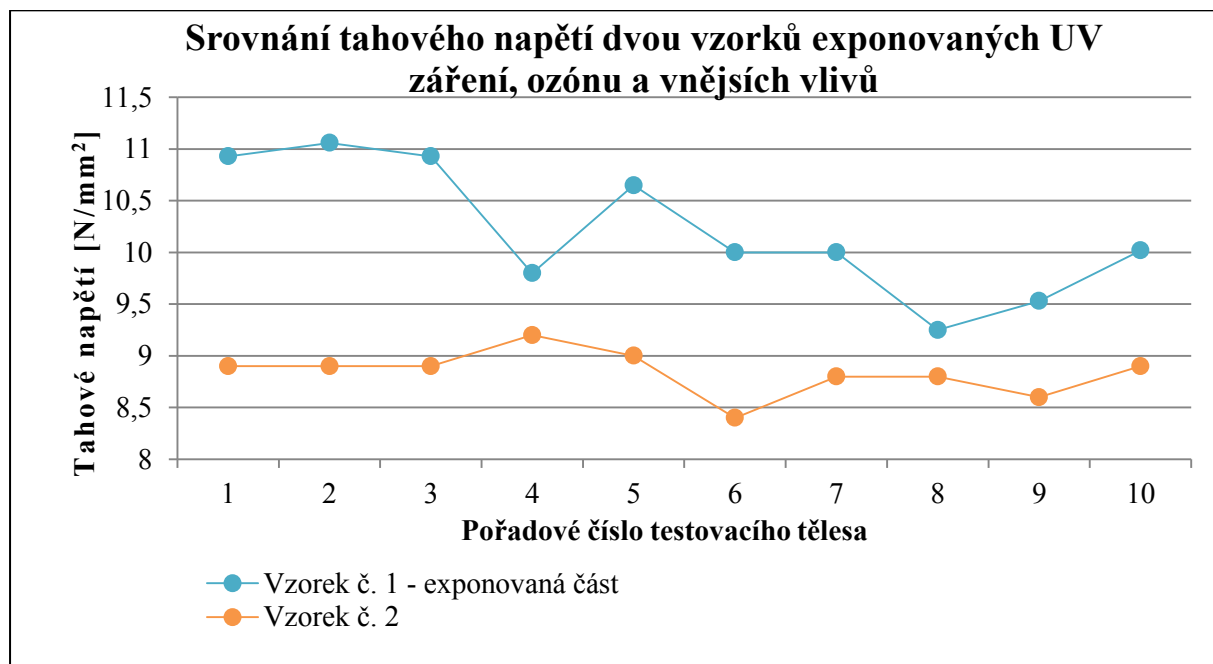
Graf 3 Srovnání výsledků laboratorních testů tažnosti hydroizolačních fólií vystavených přirozeným podmínkám stárnutí, umělým podmínkám stárnutí vlivem zvýšených teplot a fólie zcela nové



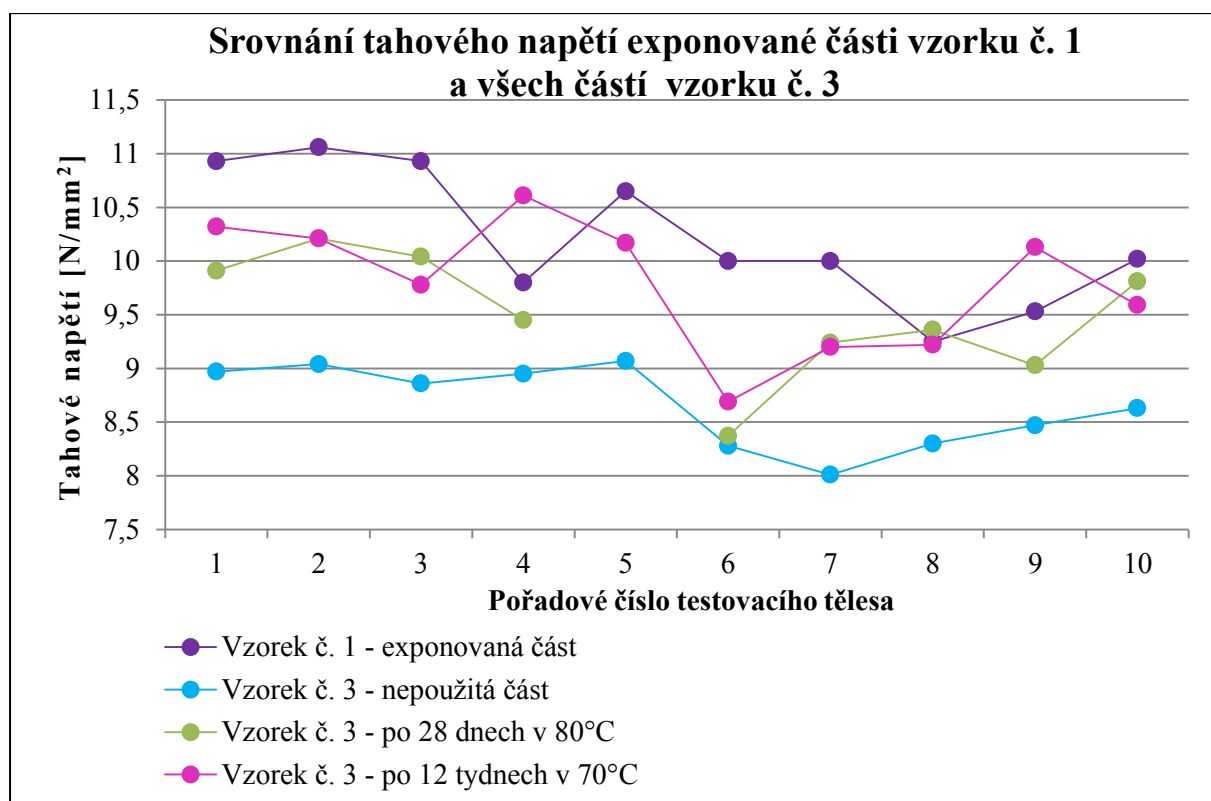
Graf 4 Srovnání výsledků laboratorních testů tahového napětí všech testovaných částí vzorku č. 1

Tahové napětí (pevnost v tahu) zkušebních vzorků odebraných na střeše krytého bazénu v Karviné vyjadřuje graf 4. Z něj vyplývá, že hodnoty tahového napětí jsou ve všech třech případech velmi podobné a také průměr výsledků je rozdílný pouze v desetínách. V případě tažnosti byl nejhorší výsledek u exponované části fólie. Proto byl předpoklad, že tato fólie bude mít zároveň nejvyšší pevnost v tahu. Tento fakt ovšem podle laboratorních zkoušek prokázán nebyl. Průměrná hodnota tahového napětí testovaných vzorků byla $10,2 \text{ N/mm}^2$. Fólie pod dlažbou má průměrné tahové napětí $10,7 \text{ N/mm}^2$ a fólie pod hydroizolací $11,3 \text{ N/mm}^2$. Dodatečnou vulkanizací sice dochází ke zpevnování materiálu, vlivem UV záření však materiál stárne a jeho tahové vlastnosti jsou nepatrně horší než vlastnosti stejné fólie stejného stáří, která je před UV zářením chráněna. Dle předpokladu má nejlepší tahové napětí podle výsledků laboratorních zkoušek vzorků část fólie skrytá pod hydroizolační vrstvou.

Graf 5 ukazuje rozdíly tahového napětí mezi střešní fólií a geomembránou, které byly vyrobeny v roce 1993. Podobně jako u porovnání tažnosti těchto fólií bychom předpokládali velmi podobné výsledky. Dle grafu však mají obě fólie zcela jiné tahové napětí, opět zcela odlišně od předpokladu. U geomembrány bychom předpokládali nepatrně vyšší tahové napětí vzhledem k vyšším teplotám, které v těchto klimatických podmínkách bývají obvyklé. Vyhodnocení tohoto grafu nebude použito v závěrečném hodnocení podobně jako hodnoty v grafu 2.



Graf 5 Srovnání výsledků laboratorních zkoušek tahového napětí pryžových fólií na bázi EPDM vyrobených v roce 1993

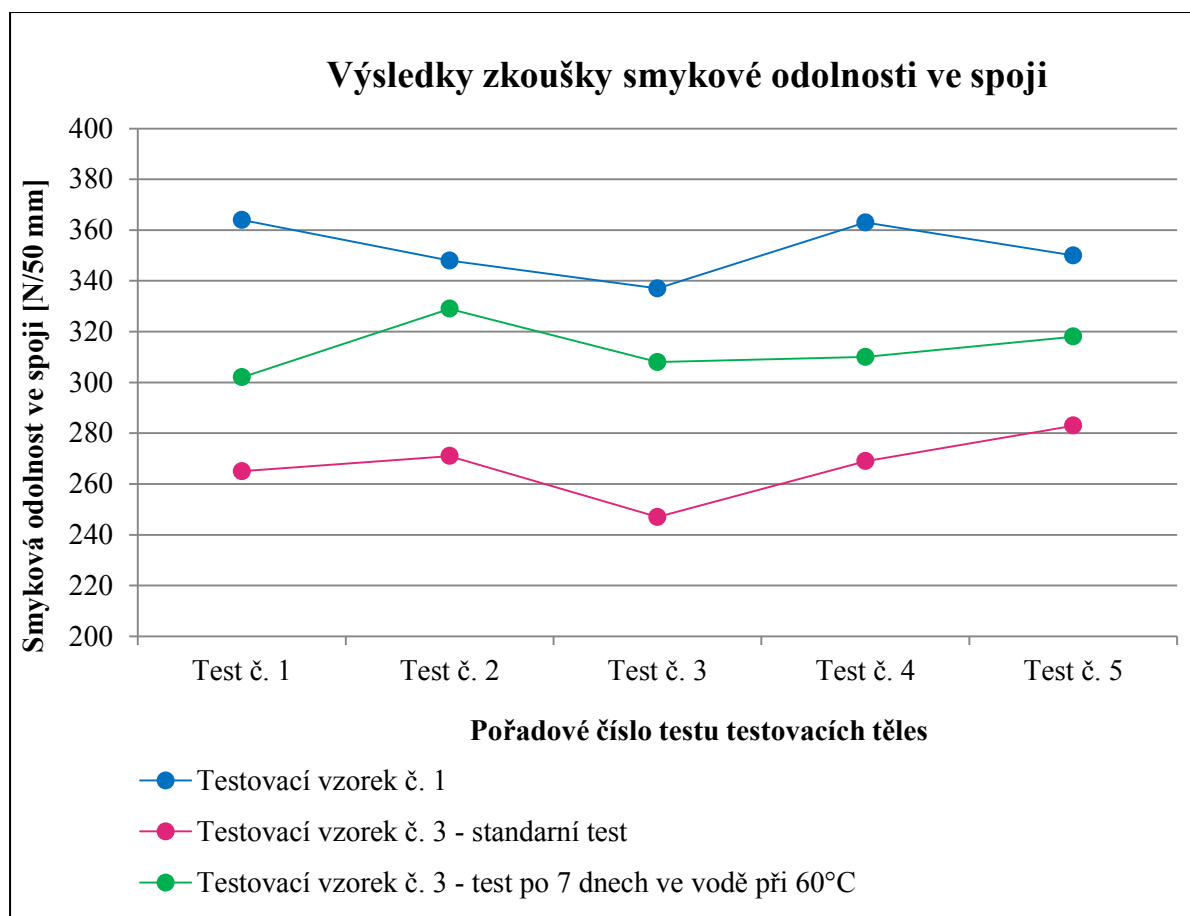


Graf 6 Srovnání výsledků laboratorních zkoušek tahového napětí hydroizolačních fólií vystavených přirozeným podmínkám stárnutí, umělým podmínkám stárnutí vlivem zvýšených teplot a fólie zcela nové

Poslední graf zobrazující tahové vlastnosti srovnává podobně jako u tažnosti nejdůležitější změny vlivem stárnutí materiálu (graf 6). Z tohoto srovnání vyplývá již zřejmý fakt, že fólie vystavená účinkům vnějšího prostředí má vyšší tahové napětí, než fólie nová. Nárůst tahového napětí z hodnoty $8,7 \text{ N/mm}^2$ na hodnotu $10,2 \text{ N/mm}^2$ je $17,2 \%$. Nárůst pevnosti v tahu po 4 týdnech při stálé teplotě 80°C je $9,2 \%$ a po 12 týdnech při teplotě 70°C pak $12,6 \%$. Při srovnání s grafem 3 můžeme konstatovat, že ačkoliv tažnost se snižuje při vyšších teplotách (80°C) rychleji, tahové napětí se zvyšuje výrazněji již delším působení nižších teplot (70°C). U tažnosti byla také hodnota po 12 týdnech při teplotě 70°C méně nepříznivá, ale tahové napětí se zvýšilo výrazněji než u vzorku, který byl vystaven kratší dobu vyšší teplotě.

Všechny naměřené hodnoty tahového napětí z tabulek 6,7 a 8 jsou v souladu s požadavky normy ČSN EN 12311-2. Minimální požadovaná hodnota je 7 N/mm^2 .

II. Smyková odolnost ve spoji



Graf 7 Srovnání výsledků laboratorních zkoušek smykové odolnosti ve spoji testovaných vzorků č. 1 a č. 3

Z grafu 7 je patrné, že nejvyšší smyková odolnost byla naměřena u zkušební vzorku č. 1, tzn. u střešní fólie instalované přes 20 lety. Druhé nejvyšší hodnoty byly naměřeny u vzorku č. 3, jehož zkušební tělesa byla před zkouškou smykové odolnosti namočená do vody při teplotě 60°C po dobu jednoho týdne. Nejnižší hodnoty smykové odolnosti byly naměřeny na nové nepoužité fólii na bázi EDPM. Všechny výsledky splňují požadavek normy ČSN EN 12317-2. Minimální normová hodnota je uváděna 200 N/50 mm.

Lze tedy konstatovat, že vlivem vnějšího prostředí, především zvýšených teplot, dochází ke zpevnění molekulárních vazeb ve spoji a k celkovému zvýšení odolnosti proti smykovému napětí. Zkoušíme-li toto napětí na nové fólii z tohoto materiálu, lze předpokládat, že toho napětí se po instalaci na střechu zvýší. U námi naměřených hodnot se z průměrné hodnoty 267 N/50 mm zvýšila smyková odolnost až na hodnotu 352 N/50 mm. Odolnost spoje na smyk se zvýšilo o 32 %. Z grafu je také patrné, že hodnoty vzorku, který byl po dobu

jednoho týdne namočen ve vodě při teplotě 60°C a vzorku, na který působily zvýšené teploty po dobu 20 let, nejsou nijak výrazně vzdálené. Lze tedy předpokládat, že ke zpevnění spoje dochází v poměrně krátkém časovém intervalu a poté se již nemění, nebo roste jen velmi nepatrně.

6. Závěr

Zhodnotíme-li výsledky laboratorních zkoušek dlouhodobě namáhaných hydroizolačních materiálů na bázi EPDM, lze konstatovat, že jsou více než uspokojivé.

Po 20 letech hydroizolace vykazují výbornou pevnost v tahu i odolnost spojů na přetržení, které se po vystavení vnějšímu prostředí ještě zvýšily. Tažnost materiálu vystaveného UV záření a působení vnějšího prostředí se po letech snížila zhruba o 13 % pod normové minimum, přesto je však tato hodnota ve srovnání s jinými hydroizolačními materiály poměrně vysoká. Další pokles pružnosti se téměř nepředpokládá, hodnota se sníží maximálně o pár promile. Průměrná hodnota tažnosti u fólie pod betonovou dlažbou i po 20 letech splňuje požadavky české technické normy ČSN EN 12311-2. Střešní pláště s materiálem na bázi EDPM přitížené kamenivem tak mají předpoklad delší životnosti oproti fóliím lepeným nebo kotveným.

Ze zkušeností s používáním těchto pryžových fólií ve Spojených státech amerických vyplývá, že i po více než 30 letech plní tento materiál svou funkci bez nejmenších problémů [8]. Můžeme tak předpokládat, že reálná životnost tohoto materiálu se může pohybovat minimálně kolem 40 let. U přitěžovaných střech však může být životnost daleko vyšší.

Seznam použité literatury

- [1] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-7080-617-6
- [2] FAJKOŠ, Antonín a Miloslav NOVOTNÝ. *Střechy: základní konstrukce*. 1. vyd. Praha: Grada, 2003. ISBN 80-247-0681-4
- [3] HANZALOVÁ, Lenka. *Ploché střechy*. 1. vyd. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2005. ISBN 80-86769-71-2
- [4] HANZALOVÁ, Lenka. *Ploché střechy: navrhování a sanace*. Praha: Public History, 2001. ISBN 80-86445-08-9
- [5] CHALOUPKA, Karel a Zbyněk SVOBODA. *Ploché střechy: praktický průvodce*. 1. vyd. Praha: Grada, 2009. Stavitel. ISBN 978-80-247-2916-9
- [6] NOVOTNÝ, Marek a Ivan MISAR. *Ploché střechy*. 1. vyd. Praha: Grada, 2003. ISBN 80-7169-530-0
- [7] HUTCHINSON, Thomas W. Technical Committee Activities. [online]. [cit. 2014-02-19]. Dostupné z: http://www.epdmroofs.org/attachments/2010_04_eralongtermroofsystemserviceli festudypowerpoint_hutchinson.pdf
- [8] VITIELLO, Ric. Comparative performance of EPDM Rubber Roofing membrane as protection against hail damage. [online]. [cit. 2014-03-05]. Dostupné z: http://www.epdmroofs.org/attachments/2007_04_comparativeperformanceofepdmrubberroofingmembraneasprotection-with%20editorial%20notes%20added%20in%20text.pdf
- [9] <https://www.google.com/maps/place/Leonovova+1797%2F1/@49.8634443,18.5518331,161m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x471155442813396b:0x4728fb0c7aef2311>
- [10] ČSN 73 1901. *Navrhování střech - základní ustanovení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011
- [11] ČSN EN 123 11-2. *Hydroizolační pásy a fólie - Stanovení tahových vlastností - Část 2: Plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013
- [12] ČSN EN 123 17-2. *Hydroizolační pásy a fólie - Stanovení smykové odolnosti ve spojích - Část 2: Plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010

- [13] ČSN EN 139 56. *Hydroizolační pásy a fólie - Plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech - Definice a charakteristiky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013
- [14] ČSN EN ISO 527-1. *Plasty – Stanovení tahových vlastností - část 1: Obecné principy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012
- [15] ČSN EN ISO 527-3. *Plasty – Stanovení tahových vlastností - část 3: Zkušební podmínky pro fólie a desky*. Praha: Český normalizační institut, 1997
- [16] ČSN P 73 0600. *Hydroizolace staveb – Základní ustanovení*. Praha: Český normalizační institut, 2000
- [17] materiály poskytnuté výrobcem a dodavatelem pro ČR

Seznam obrázků

- Obr. 1 Schéma členění povlakových hydroizolací
- Obr. 2 Diagram tepelné stability asfaltových pásů
- Obr. 3 Graficky znázorněná struktura molekul asfaltů modifikace APP a SBS
- Obr. 4 Základní schéma výroby asfaltových pásů
- Obr. 5 Schéma asfaltového hydroizolačního pásu
- Obr. 6 Kalandrování PO fólií
- Obr. 7 Schéma rozdělení jednoplášťových střech podle skladby souvrství
- Obr. 8 Příklad jednoplášťové střechy bez tepelné izolace
- Obr. 9 Příklad jednoplášťových plochých střech s klasickým uspořádáním vrstev bez parotěsnicí zábrany
- Obr. 10 Napojení větracích kanálků na vnější ovzduší
- Obr. 11 Příklad jednoplášťových plochých střech s klasickým uspořádáním vrstev s použitím parotěsnicí zábrany
- Obr. 12 Lehká střecha na trapézovém plechu
- Obr. 13 Příklad obrácené střechy
- Obr. 14 Příklad řešení střechy DUO
- Obr. 15 Schéma funkce větrané dvouplášťové ploché střechy
- Obr. 16 Charakteristické typy větraných dvouplášťových plochých střech
- Obr. 17 Skupiny polymerů
- Obr. 18 Kopolymer ethylenu s propylemen (EPM)
- Obr. 19 Schéma výroby EPDM fólií americké firmy Firestone
- Obr. 20 Kalandrování (válcování) dvou ne vulkanizovaných vrstev materiálu EPDM
- Obr. 21 Vznik továrních spojů při výrobě fólie na bázi EPDM
- Obr. 22 Autokláv
- Obr. 23 Princip spojování fólií na bázi EPDM
- Obr. 24 Kotvení hydroizolace z EPDM materiálu pomocí kovových kotvicích pásků do nosné konstrukce střechy (vlevo) a do atiky (vpravo)
- Obr. 25 Příklad lemování zdí pomocí fólie na bázi EPDM (vlevo) a pomocí fólie ze samovulkanizačního materiálu (vpravo)
- Obr. 26 Schéma vyztuženého mechanicky kotveného systému EPDM na střeše

Obr. 27 Měkčené PVC poškozené kroupami

Obr. 28 Střešní fólie na bázi EPDM zasažená krupobitím, bez známek poškození

Obr. 29 Fotografie komplexu krytého bazénu na ulici Leonovova v Karviné z ptačí perspektivy

Obr. 30 Označení hydroizolační fólie na střeše budovy „B“ krytého bazénu v Karviné datem výroby 1-93 a tloušťkou fólie v palcích 045 (1,14 mm)

Obr. 31 Označení místa odběru vzorku střešní hydroizolace

Obr. 32 Odběr vzorku pryžové fólie a příprava na nahrazení chybějící části

Obr. 33 Zajištění nové fólie v rozích a u spojů dvou fólií samovulkanizující fólií

Obr. 34 Zavlažovací nádrž ve Španělsku sloužící k zemědělským účelům

Obr. 35 Tvar zkušebního tělesa pro zkoušku v tahu

Obr. 36 Zkouška smykové odolnosti ve spojích

Seznam tabulek

- Tab. 1 Základní vlastnosti jednotlivých typů asfaltů používaných pro hydroizolaci
- Tab. 2 Přehled rozměrů a váhy fólií na bázi EPDM Firestone
- Tab. 3 Výsledky testů tažnosti z 28,29 a 32 let starých střech z materiálu EPDM
- Tab. 4 Výsledky laboratorních zkoušek tažnosti zkušebního vzorku č. 1
- Tab. 5 Výsledky laboratorních zkoušek tažnosti zkušebního vzorku č. 2
- Tab. 6 Výsledky laboratorních zkoušek tažnosti zkušebního vzorku č. 3
- Tab. 7 Výsledky laboratorních zkoušek tahového napětí zkušebního vzorku č. 1
- Tab. 8 Výsledky laboratorních zkoušek tahového napětí zkušebního vzorku č. 2
- Tab. 9 Výsledky laboratorních zkoušek tahového napětí zkušebního vzorku č. 3
- Tab. 10 Výsledky laboratorních zkoušek ů smykové odolnosti spoje zkušebního vzorku č. 1
- Tab. 11 Výsledky laboratorních zkoušek smykové odolnosti spoje zkušebního vzorku č. 3

Seznam grafů

- Graf 1 Srovnání výsledků laboratorních zkoušek tažnosti testovaných částí vzorku č. 1
- Graf 2 Srovnání výsledků laboratorních zkoušek tažnosti pryžových fólií na bázi EPDM vyrobených v roce 1993
- Graf 3 Srovnání výsledků laboratorních zkoušek tažnosti hydroizolačních fólií vystavených přirozeným podmínkám stárnutí, umělým podmínkám stárnutí vlivem zvýšených teplot a fólie zcela nové
- Graf 4 Srovnání výsledků laboratorních zkoušek tahového napětí všech testovaných částí vzorku č. 1
- Graf 5 Srovnání výsledků laboratorních zkoušek tahového napětí pryžových fólií na bázi EPDM vyrobených v roce 1993
- Graf 6 Srovnání výsledků laboratorních zkoušek tahového napětí hydroizolačních fólií vystavených přirozeným podmínkám stárnutí, umělým podmínkám stárnutí vlivem zvýšených teplot a fólie zcela nové
- Graf 7 Srovnání výsledků laboratorních zkoušek smykové odolnosti ve spoji testovaných vzorků č. 1 a č. 3

Seznam příloh

Příloha A Technický list hydroizolační fólie na bázi EPDM firmy Firestone

Příloha B Protokol o zkoušce vzorku č. 1

Příloha C Protokol o zkoušce vzorku č. 2

Příloha D Protokol o zkoušce vzorku č. 3